

Gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas: Representações computacionais do ciclo hidrológico em Sistemas de Informações Geográficas

Anderson Luis Ruhoff*
Rudiney Soares Pereira**

Resumo

O presente artigo teve como objetivo implementar e realizar uma simulação computacional numérica do escoamento superficial da água, transformando um SIG em uma representação realista dos processos espaço-temporais. Este estudo insere-se nas atividades previstas pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos, através do gerenciamento de recursos hídricos em bacias na Região Sul do Brasil. Uma das áreas prioritárias estabelecidas pelo CT Hidro é a de Uso e Conservação dos Solos e Sistemas Hídricos, em que os principais problemas são a erosão e compactação do solo, perda de cobertura natural e reflorestamentos inadequados. O programa visa subsidiar a preservação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas. Entre os principais resultados, destaca-se o grande volume de água escoada superficialmente, em que aproximadamente 46,32% do total precipitado na Bacia do Arroio Grande é perdido, o que representa mais de 90.500.000 m³ de água.

Palavras-Chave: Hidrologia, escoamento superficial, planejamento ambiental, geoprocessamento.

* Professor Mestre do Departamento de Geociências – UFSCM (ruhoff@mail.ufsm.br).

** Professor Doutor do Departamento de Engenharia Rural – UFPR (rudiney@smail.ufsm.br).

Abstract

The paper had the objective to implement a numeric computer simulation of the superficial flow of, transforming a GIS into a realistic system of the time-space. This study fits in the activities predicted by the Fundo Setorial de Recursos Hídricos, through the managing of the hydric resources in South Brazil. One area establish by CT Hidro is the land use and cover changing and soil conservation at water systems where the main problems are the soil erosion and soil compaction, loses of the natural cover and improper reforestation. With that, the program tries to provide the development of conservationist practices and the prevention of the water sources at watersheds. Between the results, the great superficial waterflow, being approximately 46,32% (90.500.000 m³) of the total of the water is lost.

Key words: Hydrology, superficial flow, environmental planning, GIS.

Introdução

A água é um elemento fundamental para a subsistência dos homens na Terra. Muito abundante no globo, a água ocupa $\frac{3}{4}$ da superfície terrestre. Entretanto, de toda água existente na Terra, 97,2% é salgada e apenas 2,8% é doce. Do total de água doce disponível, 78,1% aparecem na forma de gelo, 21,5% ocorrem em aquíferos e apenas 0,4% é água superficial. A água superficial, dado o fácil acesso para exploração, tem recebido grande preferência de utilização para diferentes fins. Entretanto, o uso descontrolado aliado à sua grande vulnerabilidade tem causado a deterioração deste recurso natural, que é a base de todo o desenvolvimento humano.

A degradação ambiental do final do Século XX causou, entre outros fatores, a poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Com a idéia de Desenvolvimento Sustentável, tornou-se clara a necessidade de utilização racional dos recursos hídricos e da gestão das águas. O uso sustentável da água, descrito

nas *Diretrizes Estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos do Ministério da Ciência e Tecnologia (2001)*, é considerado uma das bases da sociedade moderna. Os principais desafios referentes à gestão dos recursos hídricos relacionam-se com a escassez de água e a deterioração destes recursos. Os desafios no gerenciamento dos recursos hídricos estão diretamente relacionados com a gestão ambiental, pois os recursos hídricos são recursos naturais. A correta utilização do solo, implantada através do zoneamento ambiental em bacias hidrográficas respalda a gestão dos recursos hídricos.

Para *Browner (1996)*, qualquer projeto de planejamento de bacias hidrográficas deverá incluir: (a) levantamento e caracterização dos recursos naturais e das comunidades que deles dependem; (b) formulação de objetivos e metas a atingir baseados na vulnerabilidade dos recursos naturais e na necessidade de se atingir o equilíbrio dos ecossistemas e da população; (c) identificação dos problemas e desenvolvimento dos planos de ação; (d) implementação e monitoramento dos planos estabelecidos.

O conhecimento do potencial dos recursos hídricos de uma região é um importante subsídio à gestão dos recursos hídricos superficiais e/ou subterrâneos e para o planejamento da ocupação sustentada de seu território, prevenindo alterações predatórias nas características dos mananciais hídricos e suas conseqüências sobre usos e ocupações da terra. Para tanto, este artigo tem como objetivos, discutir os processos de modelagem hidrológica em bacias hidrográficas, através da avaliação da simulação computacional numérica do ciclo hidrológico. Buscou-se então, representar computacionalmente o ciclo hidrológico, através do escoamento superficial e da infiltração na Bacia do Arroio Grande.

Políticas institucionais do meio ambiente e dos recursos hídricos no Brasil

A *Política Nacional do Meio Ambiente*, instituída pela Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981, tem como objetivo a preservação, a melhoria e a recuperação da qualidade ambiental propícia a vida,

visando também desenvolver condições para a dignidade da vida humana. Entre os princípios adotados, o *Ministério do Meio Ambiente (1998)* cita: 1) a consideração do meio ambiente como patrimônio público a ser protegido; 2) o planejamento e a fiscalização do uso dos recursos naturais; 3) o controle e o zoneamento das atividades potencialmente e efetivamente poluidoras; 4) incentivos aos estudos e pesquisas orientadas para o uso sustentável e a proteção dos recursos naturais; 5) a recuperação de áreas degradadas e o posterior acompanhamento da qualidade ambiental; e, 6) a educação ambiental em todos os níveis de ensino. Nesse sentido, foram criados em 1990, o *Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA)* e o *Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)*. Mais especificamente, para implementar o gerenciamento de recursos hídricos, foi criado, em 1997, a Política Nacional dos Recursos Hídricos.

A Lei nº 9.433, de 1997, que institui a Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos constitui-se num marco de significativa importância para a implementação do termo *desenvolvimento sustentável* no Brasil. Com base na necessidade de adequação do sistema brasileiro de gestão de recursos hídricos a Política Nacional de Recursos Hídricos, que em seu Artigo 2º prevê: I – assegurar à atual e as futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequada aos respectivos usos; II – a utilização racional e integrada dos recursos hídricos com vistas ao desenvolvimento sustentável; III – a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrente do uso inadequado dos recursos naturais.

Na elaboração da Lei nº 9.433 foram considerados diversos princípios para a gestão dos recursos hídricos: I) Adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; II) A consideração dos usos múltiplos da água; III) O reconhecimento da água como bem finito e vulnerável; IV) O reconhecimento do valor econômico do recurso, entre outros. Esta lei também estabelece, em seu Artigo 3º, as diretrizes de implementação e gerenciamento de Recursos Hídricos, constando aí a integração da gestão dos recursos hídricos

com a gestão ambiental, a articulação da gestão dos recursos hídricos com a adequação do uso do solo e a articulação do planejamento de recursos hídricos com o planejamento regional.

Estes termos não são suficientemente abordados na regulamentação da Lei nº 9.433/1997, porém são fundamentais na implementação da política de recursos hídricos. Enquanto instrumento de planejamento estratégico, a Política Nacional de Recursos Hídricos aborda basicamente definições sobre o que, quando e quem deve fazer, não priorizando aspectos práticos de como fazer. Como conseqüências, muitas são as possibilidades de planejamento estratégico, cabendo aos comitês gestores de bacias hidrográficas definir as políticas locais de recursos hídricos.

Para promover a gestão de recursos hídricos, a Política Nacional de Recursos Hídricos prevê a criação de Comitês de Bacias Hidrográficas, com a função de debater as questões relacionadas aos recursos hídricos da bacia e articular a proteção e sustentabilidade destes. Os principais instrumentos do Comitê de Bacias Hidrográficas, segundo o MMA, são o Plano de Recursos Hídricos, o Enquadramento dos Cursos d' Água, a Outorga dos Direitos e a Cobrança de Uso, e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Estes instrumentos foram estabelecidos em lei para avaliar a qualidade da água e ampliar o conhecimento sobre a disponibilidade e natureza dos recursos, engajando-se no processo de recuperação, adensamento e monitoramento da situação ambiental. Os instrumentos sugerem a utilização de indicadores de controle de atividades humanas que causam pressão sobre o meio ambiente, indicadores do estado do meio ambiente e recursos naturais e indicadores da qualidade das políticas, programas e ações para proteção ambiental ou uso sustentável dos recursos.

O desafio do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério da Ciência e Tecnologia, através do Fundo Setorial de Recursos Hídricos, é o de criar tecnologias que permitam viabilizar o planejamento ambiental de recursos hídricos, compatibilizando uso e preservação no conjunto de bacia hidrográfica. Para tanto, o

Ministério do Meio Ambiente e o Ministério da Ciência e Tecnologia definiram áreas prioritárias de intervenção.

A seguir são destacados os principais desafios identificados pelo Programa *CT Hidro*, dando-se ênfase para o *Uso e Conservação do Solo e de Sistemas Hidricos*. Os desafios dessa linha de pesquisa referem-se ao desenvolvimento agrosilvopastoril, a partir da ocupação dos espaços naturais, pois os principais impactos verificados são: a) erosão do solo e produção de sedimentos que se depositam nos rios, agregados a pesticidas; b) degradação da superfície do solo com impacto local e a jusante da bacia; c) drenagem e conflito pela água em áreas de banhados, que representam ecossistemas a serem preservados; d) o desmatamento de áreas com conseqüências importantes sobre o ciclo hidrológico; e) redução da proteção de áreas marginais de rios e cursos d'água.

Bacia do Arroio Grande

Na bacia encontram-se a Formação Aluvionar, Formação Botucatu, Formação Rosário do Sul e Formação Serra Geral (Basaltos e Riólitos). Segundo a classificação de solos do Rio Grande do Sul, proposto por *Streck et al (2002)*, podem ser encontrados na Bacia do Arroio Grande, os seguintes solos: 1) *Planossolo Hidromórfico* (SGe1); 2) *Argissolo Vermelho Distrófico Arênico* (PVd2); 3) *Alissolo Hipocrômico Argilúvico* (APt2); 4) Associação *Chernossolo Argilúvico Férrico – Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico* (MTf – RLe1); 5) *Argissolo Vermelho Amarelo Aluminico* (PVAa3); e 6) *Argissolo Vermelho Amarelo* (PVAa1).

O enquadramento fitogeográfico da Bacia do Arroio Grande, segundo estudos de *Brena e Longhi (2002)*, corresponde principalmente às florestas estacionais decíduais. As florestas são tipicamente ombrófilas, que avançaram sobre os campos, resquícios de um clima árido e frio, e sobre as matas de araucárias. Revestindo toda a encosta sul do Planalto Rio-grandense, encontra-se uma floresta densa, de caráter estacional, tipicamente conhecida por Mata Atlântica. A floresta é caracterizada por uma grande

densidade de indivíduos, com estratos que variam desde espécies herbáceas até espécies com mais de 30 metros. *Brena e Longhi (op. cit.)* ainda salientam que ocorrem na área espécies comuns das formações secundárias, todas especializadas nas colonização de clareiras. Dentro da área, as espécies florestais encontram-se distribuídas conforme a aptidão dos ambientes naturais. Três tipos de formações podem ser encontrados: I) Formações Aluviais; II) Formações Submontanas, compreendendo terrenos ondulados e dissecados; e III) Formações Montanas, abrangendo áreas com altitudes superiores a 400 metros.

Dados de uso e cobertura da terra, para 15/03/2002, obtidos a partir de imagens segmentadas do Satélite LANDSAT 7 ETM, indicam que a Bacia do Arroio Grande apresenta 44,44% de sua área coberta por florestas, 34,23% de sua área ocupada com campos e 20,82% de sua área ocupada com cultivos agrícolas (considerando-se aí lavouras agrícolas, lavouras irrigadas e solos preparados par cultivo/pousio). A Tabela 1 e a Figura 1 apresentam os dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Arroio Grande para o ano de 2002.

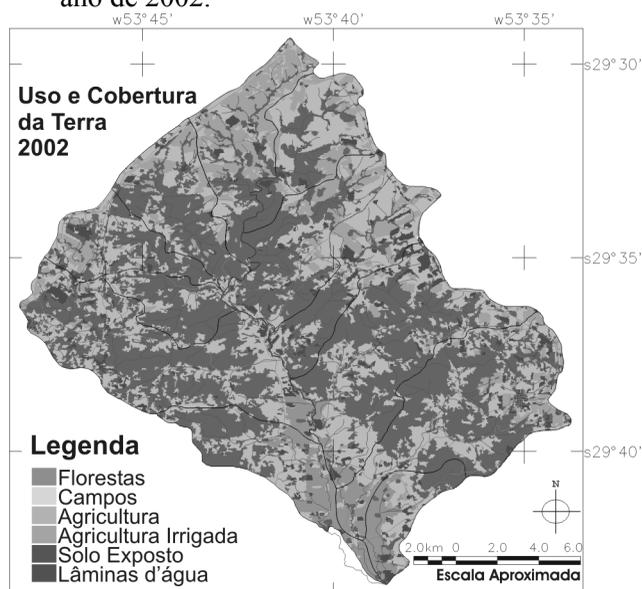
Tabela 1: Dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Arroio Grande.

Uso da Terra	Área (Hectares)	Área (%)
Florestas	15.715,05	44,44
Campos	12.105,05	34,23
Agricultura	3.697,48	10,45
Agricultura Irrigada	1.749,34	4,95
Solos Expostos	1.919,21	5,42
Lâmina d'água	173,39	0,51
TOTAL	35.359,52	100,00

A ocupação da Bacia do Arroio Grande iniciou-se a partir da metade do Século XIX, com a entrada de imigrantes italianos. A ocupação foi intensificada a partir de 1890, com o aumento das atividades agrícolas e comerciais, estando ligadas à extração de madeira e cultivo agrícola. A partir da ocupação por esses grupos, a

região adotou alguns aspectos particulares, como a policultura e o predomínio de pequenas propriedades rurais. Segundo dados do *IBGE (2004)*, os município de Silveira Martins localizam-se na bacia e apresenta densidade populacional média de 24,5 hab/km, e leve predomínio de população rural. Os principais produtos cultivados são feijão, milho e soja, destacando-se também a extração de madeira. Nas áreas de várzea foi desenvolvida a cultura do arroz irrigado. Mas o forte da produção agrícola, segundo *Itaqui (2002)*, permaneceu nas encostas das serras até meados de 1950 – 1960. Essa realidade somente mudou com o acesso a mecanização agrícola e às novas tecnologias difundidas pela *Revolução Verde*. Em 1994, os remanescentes da Mata Atlântica e ecossistemas associados foram reconhecidos pela Organização das Nações Unidas para a Educação e Cultura (UNESCO) como integrantes da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica Brasileira.

Figura 1: Mapa de uso da terra da Bacia do Arroio Grande, para o ano de 2002.



Fonte: *Ruhoff (2004)*.

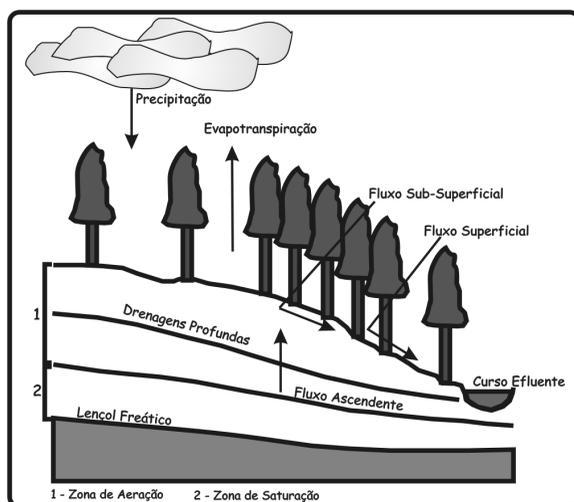
Estudos de modelagem hidrológica

As bacias hidrográficas são objetos de diversos estudos ambientais, e justificadas por muitos autores como *Browner (1996)*, *EPA (1996)*, *Botelho (1999)*, *Guerra e Cunha (1999)*, *Cooke e Doornkamp (1990)* e *Morgan (1986)*, *Kersten et al (1997)* e *Ward e Elliot (1995)*. Conforme esses autores, as bacias podem ser definidas como sistemas que captam e despejam águas sobre canais de escoamento e que desembocam numa única saída.

Para melhor entender os modelos hidrológicos, é necessário analisar os componentes envolvidos no ciclo hidrológico. *Soares e Rennó (2003)* descrevem de uma maneira bem simplificada o ciclo hidrológico. A água é o agente essencial nesse processo. A principal entrada de água no sistema é a precipitação. Considerando que exista uma cobertura vegetal sobre o solo, a água da chuva é interceptada pelo dossel. Esta água interceptada pode então ser evaporada. Da água que chega até a superfície do solo, parte é infiltrada e parte escoam superficialmente. A água infiltrada irá se redistribuir ao longo do perfil de solo. Simultaneamente à entrada de água no solo, a água pode estar sendo evaporada pela superfície ou retirada do solo pelas raízes e transpirada pelas folhas do dossel. A água pode ainda descer o perfil de solo e chegar ao lençol freático.

Em terrenos íngremes, pode ocorrer ainda, um fluxo lateral sub-superficial. No terreno, formam-se então canais por onde a água flui preferencialmente. Esses canais escoam água durante um evento de precipitação, ou durante algum tempo depois, cessando tão logo a água infiltre no solo. Outros canais, por sua vez permanecem constantemente escoando água, como os cursos efluentes, a menos que, por algum motivo, o nível do lençol freático venha a baixar, fazendo com que o canal fique acima da zona de saturação. A Figura 2 ilustra esquematicamente os principais processos e componentes do ciclo hidrológico.

Figura 2: Ciclo hidrológico em superfície de bacias hidrográficas



Fonte: Ruhoff (2004).

A variação da disponibilidade de água dentro de uma bacia hidrográfica pode ser contabilizada através de um balanço que obedece a lei de conservação de massa. De um modo bastante simplificado, conforme Soares e Renno (2003), o balanço de água pode ser resumido conforme a [Equação 1].

$$Q_i - Q_o = \Delta V / \Delta t \quad \text{[Equação 1]}$$

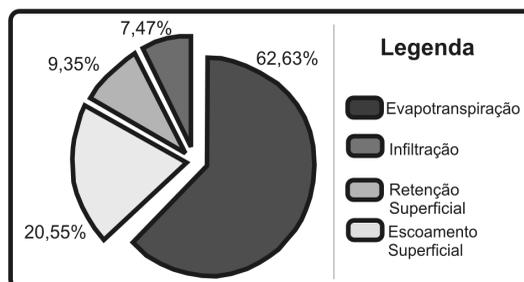
em que Q_i corresponde a vazão de entrada, Q_o corresponde a vazão de saída, ΔV corresponde ao volume da água armazenado na bacia e Δt corresponde ao tempo de análise. O volume de água armazenado na bacia é equivalente ao volume da água retido em superfície, correspondendo ao volume infiltrado, volume escoado e volume retido em reservatórios superficiais.

Esta equação do balanço hídrico, conforme Soares e Rennó (2003) pode ser utilizada para eventos simples de simulações de precipitações, ou para séries temporais, embora as escala de cada um dos processos possam ser consideravelmente diferentes. Para

fins de planejamento e modelagem hidrológica em sistemas ambientais, considerou-se, para este artigo, valores médios de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial. Bloom (1970), Grosvenor (1996), Odum (1988) e Garcia (2001) informam que, do volume de água precipitado sobre a terra, 62,63% corresponde a evaporação/evapotranspiração. O restante (37,37%) da água fica retido na superfície. Do total retido na superfície, 20,55% infiltram no solo, 9,35% escoam para reservatórios superficiais de água e 7,47% vão para o escoamento superficial.

O volume de água que deveria infiltrar nas bacias hidrográficas corresponde a 20,55%. Extrapolando os valores acima para bacias hidrográficas, e considerando como 100% o volume de água que deveria infiltrar, tenho: 89,3% infiltram em florestas, 7,20% infiltram em campos e 3,60% infiltram em áreas agrícolas. A Figura 3 apresenta, de uma maneira esquemática, o destino da água no ciclo hidrológico.

Figura 3: Destino das águas no ciclo hidrológico.



Fonte: Ruhoff (2004).

Estabelecidos os valores médios do ciclo hidrológico, Garcia (2001), com base em Odum (1988), Bunting (1971) e Grosvenor (1996), comenta que podem ser determinados os volumes de água perdidos em áreas de florestas, campos e agricultura, prevendo áreas a serem recuperadas ambientalmente.

Através da precipitação anual (2.691,4 mm para o ano de 2002) e da razão desta com a área de cada microbacia, calculou-se o volume de água que precipita sobre a bacia, bem como o volume de água evaporada e evapotranspirada, escoada, infiltrada e retida na superfície em rios, lagos e banhados, nos específicos usos da terra: florestas, campos e agricultura.

O comportamento do ciclo hidrológico, de uma maneira geral, depende da precipitação e da área de cada microbacia. Determinou-se o volume de água perdida de acordo com os percentuais de infiltração médio para cada uso da terra, sendo diretamente proporcional à área ocupada por florestas, campos e agricultura. A Tabela 2 apresenta o balanço hídrico geral da Bacia do Arroio Grande.

Tabela 2: Balanço Hídrico da Bacia do Arroio Grande.

Micro-bacia	Área (Hectares)	Volume Precipitado (m³/ano)	Volume Evaporado (m³/ano)	Volume Retido na Bacia (m³/ano)		
				Infiltração	Retenção	Escoamento
01	1.277,10	34.371.869	21.527.102	7.063.419	3.213.770	2.567.579
02	5.244,81	141.158.816	88.407.767	29.008.137	13.198.349	10.544.564
03	5.124,68	137.925.638	86.382.827	28.343.719	12.896.047	10.303.045
04	2.474,50	66.598.693	41.710.761	13.686.031	6.226.978	4.974.922
05	2.917,55	78.522.941	49.178.918	16.136.464	7.341.895	5.865.664
06	2.376,54	63.962.198	40.059.524	13.144.232	5.980.465	4.777.976
07	2.644,99	71.187.261	44.584.581	14.628.982	6.656.009	5.317.688
08	1.814,51	48.835.722	30.585.813	10.035.741	4.566.140	3.648.028
09	1.311,35	35.293.674	22.104.428	7.252.850	3.299.959	2.636.437
10	5.430,16	146.147.326	91.532.070	30.033.276	13.664.775	10.917.205
11	2.391,80	64.372.905	40.316.751	13.228.632	6.018.867	4.808.656
12	2.351,53	63.289.078	39.637.950	13.005.906	5.917.529	4.727.694
TOTAL	35.359,52	951.666.121	596.028.492	195.567.388	88.980.782	71.089.459

Dentre os principais resultados, precipitam sobre a Bacia do Arroio Grande, aproximadamente 951.666.121 m³ de água por ano.

Destes, apenas 195.567.388 m³ infiltram e são armazenados no sub-solo da bacia. Outros 88.980.782 m³ são retidos em superfícies como rios, barragens, lagos e banhados. Aproximadamente 71.089.459 m³ são escoados superficial e sub-superficialmente. O ciclo hidrológico vai apresentar modificações conforme o tipo de uso e cobertura da terra em cada microbacia, pois a área de florestas, campos/pastagens e áreas agrícolas vão determinar o volume de água infiltrada, retida e escoada superficialmente.

A partir da cobertura florestal de cada microbacia do Arroio Grande, estipulou-se o volume de água infiltrada e perdida. O volume de água perdida corresponde a todo volume de água que deixou de infiltrar. *Garcia (2001)* considera essa perda de água normal, pois ocorrem em áreas florestais. Esse volume de água corresponde a 10,70%, ou seja, o restante dos 89,30% do volume total de água infiltrada em florestas. A Tabela 3 apresenta o balanço hídrico em áreas florestais por microbacia do Arroio Grande.

Tabela 3: Balanço Hídrico em Áreas Florestais da Bacia do Arroio Grande.

Micro-bacia	Área Florestal (Hectares)	Volume Precipitado (m ³ /ano)	Volume a Infiltrar (m ³ /ano)	Volume Infiltrado (m ³ /ano)	Volume Perdido (m ³ /ano)
01	271,37	7.303.652	1.500.901	1.340.154	160.746
02	2.485,00	66.881.290	13.744.105	12.272.111	1.471.994
03	2.530,57	68.107.761	13.996.145	12.497.158	1.498.987
04	834,32	22.454.888	4.614.480	4.120.269	494.211
05	1.427,32	38.414.890	7.894.260	7.048.785	845.475
06	826,68	22.249.266	4.572.224	4.082.539	489.685
07	754,37	20.303.114	4.172.290	3.725.438	446.852
08	798,68	21.495.674	4.417.361	3.944.262	473.099
09	922,00	24.814.708	5.099.422	4.553.274	546.148
10	2.766,75	74.464.310	15.302.416	13.663.527	1.638.889
11	888,06	23.901.247	4.911.706	4.385.662	526.044
12	1.209,93	32.564.056	6.691.914	5.975.210	716.704
TOTAL	15.715,05	422.954.856	86.917.223	77.608.388	9.308.835

Microbacias com maiores percentuais de cobertura florestal apresentam um volume maior de água infiltrada, bem como um menor volume de água perdida. Para microbacias com menores percentuais de cobertura florestal, ocorre o processo inverso. Ou seja, estas microbacias apresentam menores volumes de água infiltrada, enquanto que o volume de água perdida é muito maior. A Bacia do Arroio Grande perde 9.308.835 m³ de água por ano em áreas florestais.

Em áreas de campos e pastagens, a Bacia do Arroio Grande perde aproximadamente 62.163.945 m³ de água, dentre os quais, 6.657.758 m³ de água são consideradas perdas normais, o restante, um volume de 55.506.187 m³ de água é perdida em excesso por ano. A Tabela 4 apresenta o balanço hídrico de cada microbacia do Arroio Grande.

Tabela 4: Balanço Hídrico em Áreas de Campos/Pastagens da Bacia do Arroio Grande.

Micro-bacia	Área Campos (Hectares)	Volume Precipitado (m ³ /ano)	Volume a Infiltrar (m ³ /ano)	Volume Infiltrado (m ³ /ano)	Volume Perdido (m ³ /ano)	Perdas em Excesso (m ³ /ano)
01	417,00	11.223.138	2.306.355	164.904	2.141.450	1.912.101
02	1.763,50	47.462.839	9.753.613	697.383	9.056.230	8.086.308
03	1.836,25	49.420.833	10.155.981	726.153	9.429.828	8.419.894
04	1.040,81	28.012.360	5.756.540	411.593	5.344.947	4.772.504
05	987,12	26.567.348	5.459.590	390.361	5.069.229	4.526.315
06	1.013,43	27.275.455	5.605.106	400.765	5.204.341	4.646.956
07	657,06	17.684.113	3.634.085	259.837	3.374.248	3.012.866
08	651,46	17.533.394	3.603.113	257.623	3.345.490	2.987.188
09	341,43	9.189.247	1.888.390	135.020	1.753.370	1.565.584
10	1.916,12	51.570.454	10.597.728	757.738	9.839.991	8.786.128
11	774,75	20.851.622	4.285.008	306.378	3.978.630	3.552.519
12	706,12	19.004.514	3.905.428	279.238	3.626.189	3.237.825
TOTAL	12.105,05	325.795.316	66.950.937	4.786.992	62.163.945	55.506.187

Do volume total precipitado, apenas 7,20% infiltram em áreas de campos e pastagens. Toda a água restante é perdida em escoamento superficial e sub-superficial. É um volume de água muito grande, pois representa aproximadamente 92,8% do total precipitado. Considerando que a perda de água é diretamente proporcional a área de ocorrência, as microbacias que possuem maiores extensões de campos e pastagens, apresentarão também grandes volumes de água perdida. Essas microbacias localizam-se principalmente nas áreas mais elevadas da Bacia do Arroio Grande, área que corresponde ao Planalto Meridional, em que a cobertura de campos e pastagens varia de 35,30 a 42,70% do total da área de cada microbacia. Esse percentual mantém-se nas microbacias da planície aluvial do Arroio Grande, e diminui nas áreas do Rebordo do Planalto, em que a cobertura florestal é mais intensa, variando desde 24,80 a 33,60% do total da área de cada microbacia.

Para avaliar o balanço hídrico em áreas agrícolas, considerou-se como áreas agrícolas, as classes temáticas: 1) Agricultura, 2) Agricultura Irrigada, e 3) Solos Expostos. Somou-se a área dessas três classes para obter dados de infiltração e perdas de água em cada microbacia do Arroio Grande. A Tabela 5 apresenta os dados do ciclo hidrológico por microbacia hidrográfica do Arroio Grande.

Áreas agrícolas apresentam apenas 3,60% de infiltração no solo, e o restante é escoado superficialmente e perdido. Nesse sentido, a Bacia do Arroio Grande perde aproximadamente 39.289.885 m³ de água, dos quais 35.081.938 m³ de água são perdidos em excesso, ou seja, deixam de infiltrar e abastecer o lençol freático. As maiores perdas de água ocorrem nas microbacias com maior ocupação agrícola. Essas microbacias estão localizadas no topo do Planalto Meridional e na planície aluvial do Arroio Grande, apresentando aproximadamente ocupações agrícolas entre 22,40 e 46,50% do total da área de cada microbacia. As microbacias do Rebordo do Planalto apresentam menores percentuais de ocupação agrícola, que variam de 3,40 até 19,60%

do total da área de cada microbacia, e como consequência apresentam menores perdas de água.

Tabela 5: Balanço Hídrico em Áreas Agrícolas da Bacia do Arroio Grande.

Micro-bacia	Área Agrícola (Ha)	Volume Precipitado (m³/ano)	Volume a Infiltrar (m³/ano)	Volume Infiltrado (m³/ano)	Volume Perdido (m³/ano)	Perdas Excesso (m³/ano)
01	542,55	14.602.191	3.000.750	106.827	2.893.923	2.583.984
02	980,56	26.390.792	5.423.308	193.070	5.230.238	4.670.079
03	753,18	20.271.087	4.165.708	148.299	4.017.409	3.587.145
04	599,37	16.131.444	3.315.012	118.014	3.196.997	2.854.599
05	499,61	13.446.504	2.763.256	98.372	2.664.885	2.379.475
06	531,43	14.302.907	2.939.247	104.637	2.834.610	2.531.023
07	1.227,81	33.045.278	6.790.805	241.753	6.549.052	5.847.649
08	355,56	9.569.542	1.966.541	70.009	1.896.532	1.693.413
09	44,49	1.197.404	246.066	8.760	237.307	211.891
10	698,36	18.795.661	3.862.508	137.505	3.725.003	3.326.055
11	703,31	18.928.885	3.889.886	138.480	3.751.406	3.349.630
12	429,80	11.567.637	2.377.149	84.627	2.292.523	2.046.994
TOTAL	7.366,03	198.249.331	40.740.238	1.450.352	39.289.885	35.081.938

Conforme variam as taxas de ocupação agrícola, varia também o balanço hídrico, pois as microbacias com maiores taxas percentuais de agricultura apresentam também os maiores volumes de perdas de água.

Considerando-se a compartimentação geomorfológica de cada microbacia¹, estipulou-se o volume de água precipitada,

¹ Estão localizadas nas planícies aluviais, as microbacias identificadas pelos números [1] e [11]. A microbacia hidrográfica de número [9] encontra-se localizada no Rebordo do Planalto Meridional, enquanto que as microbacias [2], [3], [10] e [12] possuem aproximadamente apenas 50% do total de sua área localizada sobre este compartimento geomorfológico, sendo que as nascentes destas microbacias (restante da

infiltrada e perdida conforme as unidades do relevo (planícies, encostas e planalto). A Tabela 6 exibe o volume de água perdida em excesso em cada microbacia.

Tabela 6: Balanço Hídrico em Áreas Agrícolas da Bacia do Arroio Grande.

Microbacia	A Infiltrar (m ³ /ano)	Perd. Excesso (m ³ /ano)	
		m ³ /ano	%
01	7.063.419	4.496.085	63,65
02	29.008.137	12.756.387	43,98
03	28.343.719	12.007.038	42,36
04	13.686.031	7.627.103	55,73
05	16.136.464	6.905.790	42,80
06	13.144.232	7.177.979	54,61
07	14.628.982	8.860.515	60,57
08	10.035.741	4.680.601	46,64
09	7.252.850	1.777.475	24,51
10	30.033.276	12.112.183	40,33
11	13.228.632	6.902.149	52,18
12	13.005.906	5.284.818	40,63
TOTAL	195.567.388	90.588.125	46,32

Nas planícies aluviais, são perdidos aproximadamente 11.389.000 m³ de água anualmente em uma área de 3.668,90 hectares. Essas perdas ocorrem principalmente nas áreas agrícolas de arroz irrigado. Nas áreas de maiores declividades que caracterizam as encostas do Planalto Meridional, o volume de água perdida em excesso corresponde a aproximadamente 22.857.000 m³ de água por ano, em uma área equivalente a 10.386 hectares.

área de cada microbacia – 50%) encontram-se no topo do Planalto Meridional. Já as microbacias de número [4], [5], [6], [7] e [8] localizam-se no Planalto Meridional.

Nas áreas de nascentes da Bacia do Arroio Grande, que se localizam no topo do Planalto Meridional, o volume de água perdida em excesso corresponde a aproximadamente 51.650.000 m³, captada em 21.303,64 hectares. É um volume muito grande de água perdida nas nascentes da Bacia do Arroio Grande, representando aproximadamente 57% do volume total de água perdida em excesso nesta bacia. Através da Tabela 6, ainda percebe-se que algumas microbacias apresentam perda bastante elevada de água. A média por microbacia hidrográfica corresponde a 46,32%, porém algumas microbacias apresentam perdas acima deste valor médio, variando até 63,65% em microbacias com pouca cobertura florestal e elevada atividade agrícola. Outras microbacias apresentam pequenas perdas de água. As taxas mínimas de perdas situam-se a partir de 24,51% do volume total de água a infiltrar.

Nesse sentido, destacam-se a erosividade da chuva e a densidade de cobertura vegetal. Em áreas menos protegidas, como em campos, pastagens e áreas agrícolas, a energia cinética da chuva aumenta, tornando principalmente a erosão superficial laminar mais intensa, com a conseqüente remoção e transportes de sedimentos dos solos.

Guerra (1998) comenta que em áreas com mais de 70% de cobertura vegetal, o processo de infiltração de água na terra torna-se mais lento, porém mais intenso ao longo do tempo. Se o processo de infiltração aumenta, conseqüentemente reduz o volume de água escoado superficialmente e o volume de solos erodidos. O autor ainda comenta que a cobertura florestal controla a erosão dos solos de três maneiras: 1) atuando sobre o *runoff*, 2) no balanço hidrológico, e 3) nas variações sazonais da interceptação.

Considerações finais

Os resultados obtidos com o processo de modelagem hidrológica, permitiu chegar a algumas considerações importantes: I) as maiores perdas de água ocorrem principalmente em microbacias que apresentam maiores taxas de ocupação agrícola, e, que conseqüentemente, possuem as menores áreas percentuais de

cobertura florestal; II) a Bacia do Arroio Grande perde um elevado volume de água anualmente, em função da intensa exploração agrícola nas planícies aluviais e no Planalto Meridional; III) a agricultura utiliza grande volume da água. Outro agravante da questão da água é a pequena cobertura florestal em locais estratégicos, como nas nascentes e nas áreas marginais do Arroio Grande. Os principais impactos que ocorrem são a diminuição da retenção de água no solo, assoreamento dos cursos d'água e rebaixamento do lençol freático. Essas são algumas das explicações para a ocorrência de enchentes bastante destrutivas em períodos de chuvas intensas, e secas severas, em períodos prolongados sem precipitações. Também é importante salientar, que os valores médios de infiltração em florestas, campos e áreas agrícolas precisam ser reavaliados, pois neste artigo não foram considerados diretamente as formações geológicas e os tipos de solos na modelagem hidrológica.

Referências bibliográficas

- Bloom, A.L. **Superfície da Terra**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970. 184p.
- Bobba, A.G., Singh, V.P., Bengtsson, L. Application of Environmental Models to different hidrological systems. In: **Ecological Modelling**, (125) 15 – 49, 2000.
- Botelho, R.G.M. *et al.* **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- Brena, D.A. e Longhi, S.J. Inventário Florestal da Quarta Colônia. In: Itaqui, J. **Quarta Colônia – Inventário Técnico de Flora e Fauna**. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002.
- Browner, C.M. **Watershed approach framework**. Washington: U. S. Enviromental Protection Agency, 1996.
- Bunting, B.T. **Geografia do Solo**. Rio de Janeiro: Zahar, 1971.

Cooke, R.U. e Doornkamp, J.C. **Geomorphology in Environmental Management: a new introduction**. New York: Oxford University Press, 1990. 410 p.

Environmental Protection Agency. **Why watersheds**. Washington: EPA, 1996.

Garcia, S. **Florestamentos compensatórios para retenção de água em microbacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Santa Maria: UFSM, 2002.

Grosvenor, G.M. **Atlas of The World**. Washington: National Geographic Society, 1996.

Guerra, A.J.T. Processos erosivos nas Encostas. In: Guerra, A. J, T. e Cunha, S. B. **Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

Guerra, A.J.T. e Cunha, S. B. **Avaliação e perícia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE@Cidades**. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidades. Acesso em: Março/2004.

Itaqui, J. (2002). **Quarta Colônia – Inventário Técnico de Flora e Fauna**. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002. 256 p.

Lanna, A.E. **Gerenciamento de Bacias Hidrográficas: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília: IBAMA, 1995. 171p.

Ministério da Ciência e Tecnologia. **Diretrizes estratégicas para o fundo de recursos hídricos**. Brasília: C e T, 2001. 38p.

Ministério do Meio Ambiente. **Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: C e T, 1998. Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: Março/2003.

Morgan, R.P.C. **Soil Erosion & Conservation**. New York: Longman Inc., 1986.

Odum, P.E. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.

Política Nacional dos Recursos Hídricos. Lei n.º 9433, de janeiro de 1997. Publicação eletrônica. Disponível em: www.mma.gov.br. Acesso em: Setembro/2002.

Righetto, A.M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Paulo: EESC/USP, 1998. p. 731 - 813.

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.

Soares, J.V. e Rennó, C.D. Conceitos de Modelagem Hidrológica. In: Câmara, G. e Monteiro, A. M. V. **Curso de Introdução à Modelagem Dinâmica**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, 2003.

Streck, E.V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2002.

Ward, A.D. e Elliot, W.J. **Environmental Hidrology**. New York: Lewis Publishers, 1995.

Recebido em setembro de 2003

Aceito em outubro de 2004