

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA GERENCIAMENTO QUANTITATIVO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS EM AMBIENTES URBANIZADOS

Thiago Garcia da Silva Santim¹; Jefferson Nascimento de Oliveira²; José Augusto de Lollo³ & Malva Andreas Mancuso⁴

Resumo – Este trabalho quantificou a alteração da taxa de infiltração de uma sub-bacia urbana do município de Ilha Solteira – SP com a aplicação do método do balanço de massas. O resultado foi obtido com o auxílio de planilhas de cadastro do uso e ocupação do solo e cartas temáticas do tipo de solo, geologia e relevo do setor analisado. Desta forma, o trabalho foi dividido em etapas, sendo a primeira, a fase de obtenção dos dados de uso e ocupação do solo, estudo das informações relativas às recargas indiretas e tipo de solo da área de estudos. A segunda etapa consistiu na inserção destas informações nas planilhas *Excel* com o intuito de se desenvolver um ferramental de fácil trato e que possibilitasse aos órgãos gestores dos recursos hídricos no município uma orientação nas tomadas de decisões pertinentes a fixação de taxas de urbanização para o Plano Diretor, por exemplo. A etapa final foi composta das simulações, para diversos cenários de uso e ocupação do solo do setor, e dos resultados obtidos.

Abstract – This study quantified the change in the infiltration's rate of an urban sub-basin of the municipality of *Ilha Solteira - SP* with the application of the mass account method. The result was obtained with the help of spreadsheets to register use and landscape of soil and thematic cards of the type of soil, geology and topography of analyzed section. This way, the work was divided into stages, being the first, the obtaining process data of use and landscape of soil, information's study about indirect refills and soil's type of studies area. The second step was the inclusion of such information in Excel spreadsheets in order to develop an easy tool for treatment and to allow the managers organs of water resources in a municipality to guidance relevant decisions taken in the setting of urbanization's rate into the master plan, for example. The final step was composed of the simulations for various scenarios of use and landscape of soil to the study's sector, and the obtained results.

Palavras-Chave – Balanço de Massas, Taxa de Recarga Subterrânea, Planilhas Excel.

¹ Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Laboratório de Hidrologia e Hidrometria – LH² – UNESP – Campus de Ilha Solteira. Al. Bahia, 550 – Norte, Caixa Postal 31 Ilha Solteira – SP. Brasil. CEP 15385000. e-mail: tgssantim777@yahoo.com.br

² Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Laboratório de Hidrologia e Hidrometria – LH² – UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550 – Norte, Caixa Postal 31 Ilha Solteira – SP. Brasil. CEP 15385000. Fone: (18) 37431211. Fax: (18) 37431160. e-mail: jeffno@dec.feis.unesp.br

³ Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP – Campus de Ilha Solteira. Alameda Bahia, 550 – Norte, Caixa Postal 31 Ilha Solteira – SP. Brasil. CEP 15385000. Fone: (18) 37431215. Fax: (18) 37431160. e-mail: lolloja@dec.feis.unesp.br

⁴ LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Researcher Office, Hydraulics and Environment Department Groundwater Division, Av. do Brasil 101, PT-1700-066 LISBOA, Portugal. e-mail: mmancuso@lneec.pt

1 – INTRODUÇÃO

O termo crescimento populacional atualmente nos condiciona a uma visão caótica de desenvolvimento urbano desprovido de ações preventivas. Tal percepção nos aborda desde os aspectos de infra-estrutura até os que dizem respeito às questões de meio ambiente, economia, política e sociedade.

Entretanto, um ponto comum pode ser relevado nesse processo de ampliação populacional: o uso dos recursos hídricos. A crescente aglomeração de indivíduos em cidades passou a exigir uma demanda maior de recursos hídricos, seja para o cultivo de alimentos ou para o abastecimento e saneamento básico, resultando na necessidade de gestão. Porém o gerenciamento é algo interdisciplinar, complexo e, portanto de difícil concepção.

A gestão pode ser feita de várias formas, pois são muitos os caminhos certos, não sendo únicos e também não sendo os melhores para o momento. Desta forma gerir os recursos hídricos esbarra em inúmeros percalços, sendo a falta de informações para prognóstico, planejamento, organização e orientação de ações o maior de todos.

Com o passar dos anos o número de cidades com mais de 50 mil habitantes aumentou de forma significativa, atrelado a esta expansão das áreas urbanas podemos associar a redução da recarga difusa dos aquíferos, aumento das ilhas de calor, canalização de corpos d'água, ocupações de áreas inundáveis e na área agrícola a intensificação das práticas extensivas de cultivo. Tais fatores degradaram sobremaneira as águas superficiais e nos últimos anos, conforme São Paulo (2006), vêm realizando a super exploração dos recursos subterrâneos sem avaliar sua interferência na conservação deste recurso tão importante no futuro incerto da humanidade diante da já anunciada crise da água (Tundisi, 2003).

Este trabalho contemplou as ações de cadastro da área de uma sub-bacia urbana de Ilha Solteira – SP e sua relação com a taxa de recarga subterrânea desde o início da ocupação da área até o ano de 2005, tendo como objetivo o fornecimento de informações e uma ferramenta de simulação para a Prefeitura Municipal de Ilha Solteira – SP.

2 – MATERIAIS E MÉTODO

2.1 – Características da Área de Estudos

A área de estudos, conforme ilustrado pela Figura 1, é uma sub-bacia urbana do município de Ilha Solteira – SP.

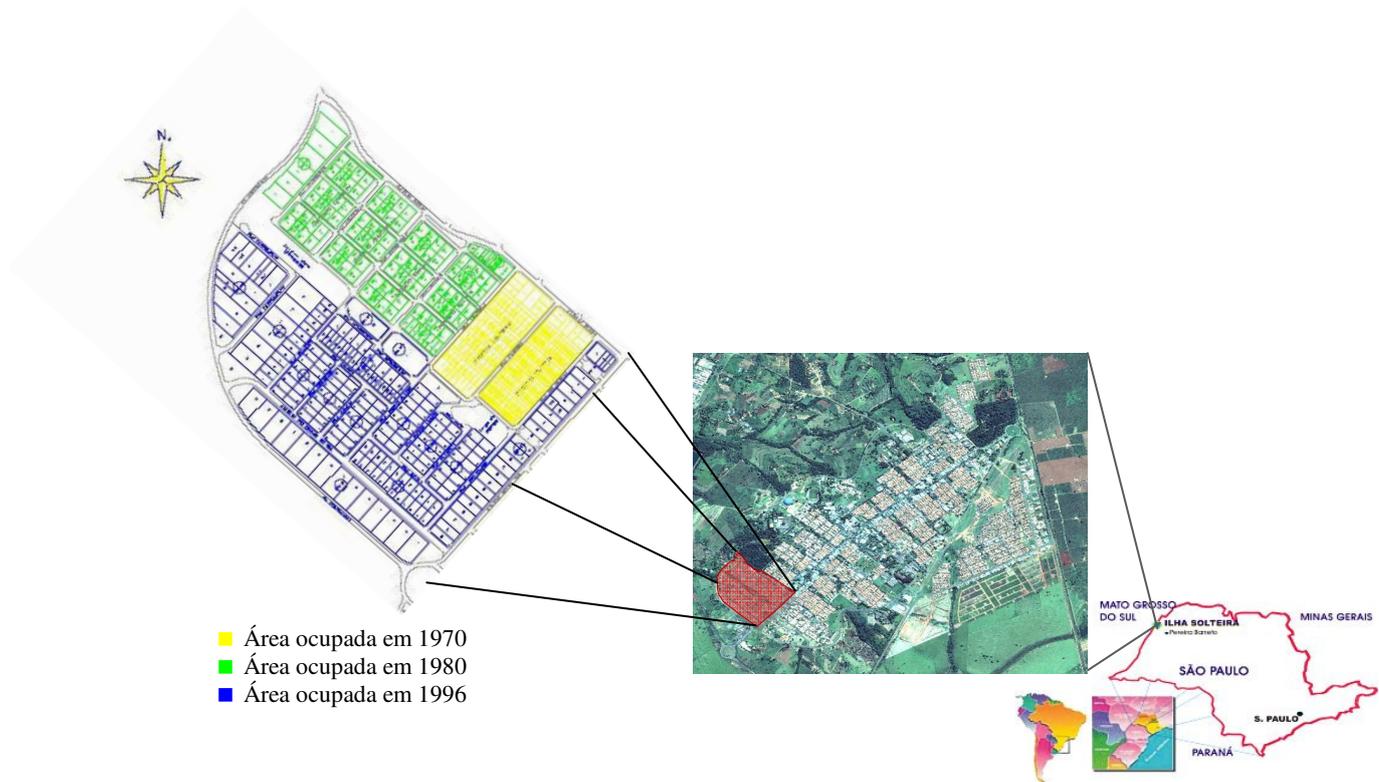


Figura 1 – Localização da área de estudo e histórico da ocupação (Fonte: Modificado de Santim & Oliveira, 2007)

A cidade foi fundada em 1968 para dar abrigo aos responsáveis pela construção da Usina Hidroelétrica de Ilha Solteira, porém neste ano o núcleo habitacional ainda era denominado como alojamento, pertencendo ao município de Pereira Barreto – SP.

O projeto inicial do alojamento não previa a existência de habitações que fossem diferentes dos tipos pré-determinados, desta forma até meados de 1979 não houve alterações no *layout* das residências, mas a partir deste ano, na busca de um conforto maior, os moradores passaram a alterar as características das casas, aumentando a área coberta por telhados e impermeabilizando o solo. A Figura 2 demonstra a condição inicial dos lotes e a condição atual.



Figura 2 – Residências Tipo de Ilha Solteira (a) até 1980; e (b) situação atual (Fonte: (a) DEE, 2006; (b) Santos, 2005)

Quanto à ocupação da sub-bacia analisada, seu histórico pode ser visualizado na Figura 1 pelas diferentes cores. Já a Figura 3 proporciona o impacto visual da expansão urbana e da alteração da ocupação do solo.

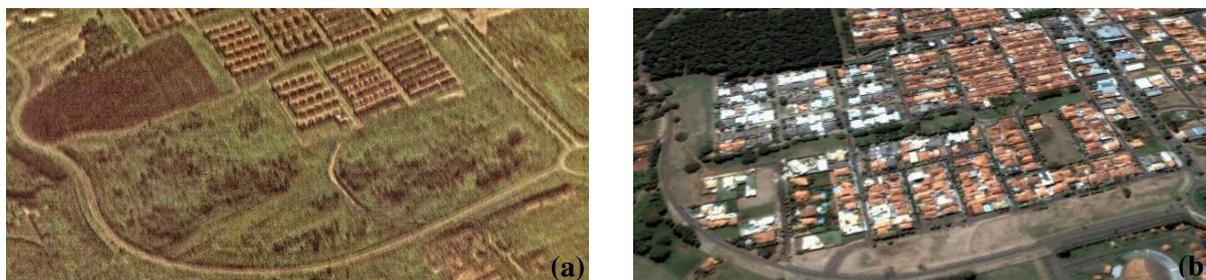


Figura 3 – Área de estudos em 1970 (a); e atualmente (b)
(Fonte: (a) DEE, 2006; (b) Google Earth, 2008)

O alojamento foi emancipado em 1991 e de acordo com dados da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007) em 2006 a cidade contava com uma população de 24181 habitantes, em uma área territorial de 639,47 km² sendo 9,37 km² ocupados pela área urbana consolidada. A área foco dos estudos responde por 0,348 Km² que diz respeito a 3,71% do núcleo urbano consolidado e onde residem 898 habitantes, conforme dados da Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007).

O clima da região é o tropical tipo AW, segundo o critério de Köppen, ou seja, chuvas de verão e estiagem de inverno. Apresenta índice pluviométrico em torno de 1300 mm anuais e temperatura média anual de 28°C, com a média das máximas anuais atingindo 31°C. A Tabela 1 descreve as características físicas da região.

Tabela 1 – Características do sítio urbano de Ilha Solteira – SP (Fonte: Inventário de Ilha Solteira - Depto. de Turismo e Cultura PMIS *apud* Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, 2007 e IPT, 2000)

Aspecto	Descrição
Geologia	Quanto à geologia, a região de Ilha Solteira possui rochas sedimentares do grupo Bauru (Formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá)
Geomorfologia	A região de Ilha Solteira é parte do chamado planalto ocidental ou planalto basáltico. Sua estrutura que data do mezozóico, constitui-se principalmente de arenitos e cretáceos. Ao longo dos principais rios regionais - Paraná, Tietê e São José dos Dourados - graças à retirada desse capeamento sedimentar, afloram rochas mais antigas. Desde Jupiá, as rochas são eruptivas basálticas. Os depósitos ocorridos durante o período cretáceo, denominados arenitos Bauru, apresentam fácies diferentes: o Bauru inferior sem cimento calcário e o Bauru superior com cimento calcário.
Relevo	O relevo pode ser descrito em síntese por colinas médias e colinas amplas.
Solos	Os tipos de solo encontrados são o Podzólico Vermelho – Amarelo e Podzólico Vermelho – Escuro, ambos de textura arenosa/média, não abruptos.
Vegetação	Formações de mata e de cerrado. A cobertura vegetal original da região onde se localiza Ilha Solteira era representada pela mata tropical latifoliada semi-decídua, pelo cerrado e pelo cerradão. Observa-se escassez de vegetação natural que recobre apenas cerca de 1% da área do município. A maior parte dos ecossistemas agrícolas do município é constituída por pastagens.

Quanto ao abastecimento público, a cidade conta com poços para a captação de água. De acordo com Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007), em 2005 o volume de água produzido foi de $3.325,95 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ e o consumo de $2.589,84 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$. As perdas foram definidas como sendo os volumes não medidos pelos hidrômetros, cerca de 22,13% do que foi produzido, representando $736,110 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, ou seja, 736 milhões de litros d'água. A Figura 4 indica a evolução das perdas ao longo dos anos em função da produção e consumo.

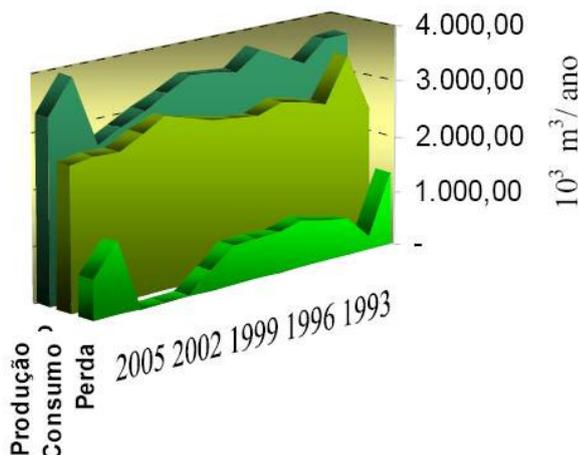


Figura 4 – Produção/Consumo/Perdas (Fonte: Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, 2007)

Para o setor em análise no ano de 1993 as perdas na rede de distribuição foram de 24367,96 m^3/ano e para o ano de 2005 foram de 28311,38 m^3/ano .

A Figura 5 demonstra o comportamento do consumo *per capita* no período de 1993 a 2005. Desta forma, destaca-se que o consumo per capita médio manteve-se no patamar de 287 l/hab x dia, característica peculiar deste município, pois não correspondem as especificações de projeto indicadas pelas Normas de instalações para abastecimento de água.

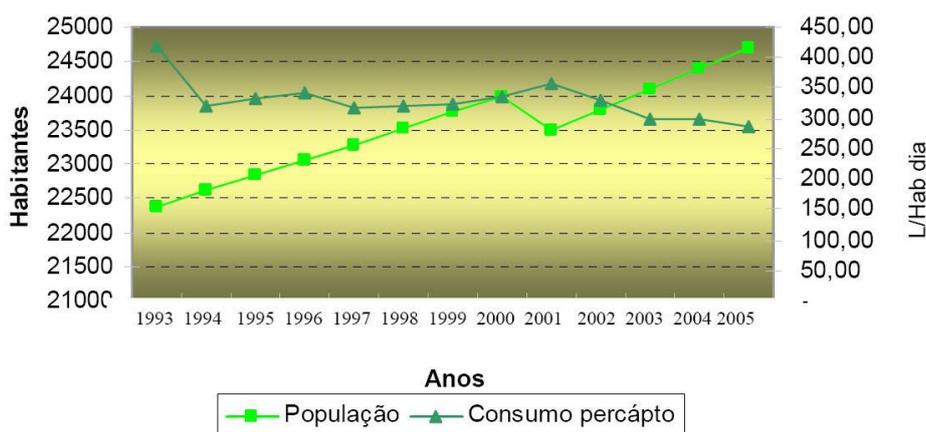


Figura 5 – População X Consumo per capita (Fonte: Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, 2007)

Referente aos efluentes domésticos, o município de Ilha Solteira – SP coleta 100% do esgoto gerado. As redes de coleta possuem 70% em manilha de barro vidrado e, operam a mais de 25 anos, mas os dados de perdas não foram mesurados.

2.2 – Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho visaram oferecer maiores informações para a determinação dos coeficientes, variáveis e parâmetros que foram tratados pelo método do balanço de massas para determinar a infiltração. Assim fez-se uso de:

- Plano diretor de Ilha Solteira – SP: para obter os dados de perdas no sistema de abastecimento de água e o volume utilizado no abastecimento, número de habitantes, densidade demográfica, sub-bacias urbanas e os usos do solo;
- Projeto inicial do núcleo habitacional de Mange (1963): para conhecimento do cenário urbano inicial;
- Cartas temáticas sobre tipo de solo, geologia e relevo: para a obtenção da porosidade do solo e vertentes da área urbana;
- Plantas das residências: para conhecimento das áreas ocupadas por telhados, concreto e jardins;
- Imagens de satélite utilizadas no *ArcMap 9.2*: com o intuito de se obter informações de áreas não abrangidas por Santim & Oliveira (2007) e das residências cujas plantas não estava acessíveis;
- Dados da rede hidrometeorológicos da UNESP para a região de Ilha Solteira – SP: para desta forma obter a taxa de evapotranspiração e assim refinar o valor das perdas.

Estes dados foram tratados em ferramentas computacionais como o *AutoCAD 2000*, *ArcMap 9.2* e as planilhas do *Microsoft Excel 2003* e assim foi possível executar o detalhamento espacial e temporal da sub-bacia urbana do município de Ilha Solteira – SP.

2.3 – Método

A determinação da infiltração pode ser feita em campo por meio de infiltrômetros (Villela & Mattos, 1975) ou por meio de métodos como a razão de infiltração variável e específica local; razão constante de infiltração; balanço de massas; e o número de curva (CN – SCS) (Canholi, 2005).

Para este trabalho, optou-se pelo balanço de massas que foi descrito por Canholi (2005) como sendo o método utilizado visando equalizar a intensidade da chuva à intensidade do deflúvio. Segundo Kuichling (1889) *apud* Canholi (2005) a relação entre a vazão de precipitação e a vazão efetiva é igual à área impermeabilizada da bacia quanto toda esta área está contribuindo, desta forma tem-se a Equação 1.

$$Q = (C_{10} \cdot i \cdot AD) / 3,60 \quad (1)$$

Em que:

Q – é a vazão que escoamento superficialmente (m³/s);

i – a precipitação em (mm/h);

AD – Área de drenagem (Km²);

C₁₀ – Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *runoff* para período de retorno (TR) de 10 anos, conforme Tabela 2 (adimensional).

A Tabela 2 fornece os valores do coeficiente de escoamento superficial com base em Sabol *et al* (2003), Tomaz (2002) e ABCP (2004). Os valores utilizados neste trabalho serão determinados conforme a Tabela 2 e segundo as características do solo e do uso e ocupação a qual a sub-bacia está e esteve sujeita ao longo dos anos.

Tabela 2 – Coeficiente de escoamento superficial para TR = 10 anos (Fonte: Sabol *et al*, 2003; Tomaz, 2002; e ABCP, 2004)

USO	OCUPAÇÃO	C ₁₀
Sistema viário	Solo exposto (compactado)	0,66
	Solo exposto	0,30
	Piçarra	0,25
	Bloquetes	0,78
	Bloquetes assentados com concreto	0,90
	Asfalto	0,90
	Concreto	0,95
Área comercial	Centro da cidade	0,95
	Vizinhanças	0,70
Área residencial	Habitação uni-familiares	0,50
	Habitação multi-familiares isoladas	0,60
	Habitação multi-familiares geminadas	0,75
	Residencial suburbana	0,70
	Apartamentos	0,70
Industrial	Indústrias leves	0,80
	Indústrias pesadas	0,90
	Parques e cemitérios	0,25
	Pátios não pavimentados	0,35
	Solo não cultivado	0,30
Lotes	Área ocupada por telhados	0,90
	Área livre ocupada por concreto	0,85
	Área livre ocupada por bloquetes	0,78
	Área livre ocupada por piçarra	0,25
	Área livre ocupada por solo exposto	0,30
Áreas verdes e praças	Gramado, solo arenoso declividade de 2%	0,10
	Gramado, solo arenoso declividade de 2% a 7%	0,15
	Gramado, solo arenoso declividade superior a 7%	0,20
	Gramado, solo pesado declividade de 2%	0,17
	Gramado, solo pesado declividade de 2% a 7%	0,22
	Gramado, solo pesado declividade superior a 7%	0,35
	Árvores/Arbustos	0,25
Pavimento intertravado	0,60	

Quando se isola a fração Q/i da Equação 1 obtém-se o que Kuichling (1889) chamou de valor racional, terminologia propulsora da denominação da Fórmula Racional (Canholi, 2005), a qual segundo FCTH (1998) *apud* Tomaz (2002) pode ser aplicada com resultados bastante satisfatórios a bacias de pequeno porte, ou seja: menores do que 3 Km² e com tempo de concentração (t_c) de até 20 minutos.

O método racional possui as seguintes hipóteses de acordo com Wilken (1978), Tucci (2001) e Tomaz (2002):

- Toda a bacia contribui com o escoamento superficial, ou seja, o tempo de duração da chuva (t_{dc}) é maior ou igual ao tempo de concentração da bacia (t_c);
- A chuva é uniformemente distribuída sobre a área de drenagem (AD), daí notam-se os melhores resultados para bacias de pequeno porte;
- Todas as perdas, sendo elas causadas pelo relevo e pela evapotranspiração são incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial.

O coeficiente de *runoff* é a relação entre a vazão de precipitação e a vazão que escoam superficialmente. Segundo Wilken (1978) o coeficiente C ideal é o resultado de um maior número de fenômenos considerados em sua determinação, pois, como afirmou Tomaz (2002), tal coeficiente depende da porosidade, cobertura superficial, grau de compactação, declividade, depressões onde a água pode ser acumulada e condições de saturação do solo.

Segundo Francis (1980) e Righetto (1998) a infiltração decresce com o tempo da chuva (t_{dc}), como demonstrado pela Equação 2, conhecida como Equação de Horton a qual fornece uma relação exponencial entre a infiltração e o tempo de chuva (t_{dc}).

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} \quad (2)$$

Em que:

$f(t)$ – é a infiltração em função do tempo (cm/h);

f_c – a infiltração final ou constante (cm/h);

f_o – a infiltração inicial (cm/h);

k – a constante de decaimento da infiltração (h^{-1});

t – o tempo (h).

Com base na Equação 2 pode-se concluir que quanto maior o tempo de retorno (TR) do evento de chuva, maior será o coeficiente de escoamento superficial, conforme corroborou Canholi (2005): “ ... o coeficiente C deve ser modificado, conforme a recorrência adotada para a chuva de projeto, em função das diferentes perdas relativas, por causa da abstração inicial em cada caso”.

Porto (1995) *apud* Tomaz (2002) indicou que para utilizar coeficientes de *runoff* para eventos de precipitação com TR superior a 10 anos, deve-se utilizar a Equação 3. A Tabela 2 fornece valores do coeficiente de escoamento superficial.

$$C_{TR} = C_{10} \cdot 0,8 \cdot TR^{0,1} \quad (3)$$

Em que:

C_{TR} - Coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *runoff* para um período de retorno TR (adimensional);

TR – Tempo de retorno da precipitação de projeto (anos).

Embasado nas informações supracitadas, pode-se concluir que as Equações 4 e 5 nos fornecem o coeficiente de perdas e a vazão de água referente às perdas, respectivamente.

$$F_{TR} = 1 - C_{TR} \quad (4)$$

Em que:

F_{TR} – Coeficiente de perdas para um período de retorno TR (adimensional).

$$Q_{PERDAS} = (F_{TR} \cdot i \cdot AD) / 3,60 \quad (5)$$

Em que:

Q_{PERDAS} – Vazão que não esco superficialmente ficando sujeita a infiltração, evapotranspiração e a retenção em depressões (m^3/s);

Por fim, para obtermos a vazão que efetivamente poderia resultar em uma recarga subterrânea ainda temos que quantificar qual a vazão representada pela evapotranspiração, restando assim um valor que será a infiltração, embora se deva salientar que ao admitir que a Equação (6) é válida, pressupõe-se que toda a lâmina de água retida nas depressões da área de estudos que não evapora irá infiltrar.

$$Q_{PERDAS} = Q_{INFILTRAÇÃO\ DIFUSA} + Q_{EVAPOTRANSPIRAÇÃO} \quad (6)$$

Em que:

$Q_{INFILTRAÇÃO\ DIFUSA}$ – Parcela das perdas, em termos de vazão, que infiltra (m^3/s);

$Q_{EVAPOTRANSPIRAÇÃO}$ – Parcela das perdas, em termos de vazão, relativa à evapotranspiração (m^3/s).

A Equação 7 fornece a vazão passível de evapotranspiração.

$$Q_{EVAPOTRANSPIRAÇÃO} = AD_{EVAPOTRANSPIRAÇÃO} \cdot ET \quad (7)$$

Em que:

ET – Evapotranspiração (mm/h);

A evapotranspiração (ET) obtida para o município de Ilha Solteira – SP foi o resultado da análise anual dos dados tabulados na rede hidrometeorológica da UNESP. Segundo este banco de dados, entre 1991 e 2007 a variação da evapotranspiração potencial foi de 0,1 mm/dia a 9,7 mm/dia, sendo o valor de 1,1 mm/dia uma taxa representativa para a evapotranspiração real quando o período a ser analisado é anual, tal como neste trabalho. A área $AD_{EVAPOTRANSPIRAÇÃO}$ neste trabalho é tomada como à parcela permeável do solo.

Wendlad (2004) destacou a importância de se diferenciar a recarga subterrânea potencial da recarga subterrânea real: “É importante salientar o conceito de recarga potencial e real. Assim, entende-se como recarga potencial a água que percola a partir da zona de raízes; a parte dessa água que atinge o aquífero é denominada recarga real”.

Velasquez (1996) define duas formas de recarga aquífera: a recarga direta e a indireta. A recarga direta é o volume de água adicionada ao reservatório de água subterrânea por percolação vertical direta da precipitação através da zona não saturada. Ainda segundo Velasquez (1996), a recarga indireta corresponde à percolação de água até o aquífero advinda do escoamento superficial a partir dos corpos hídricos existentes no terreno e das fontes de vazamento das redes de abastecimento e de coleta de esgoto doméstico.

Dessa forma, este trabalho forneceu informações sobre a taxa de recarga potencial ou recarga direta. Entretanto, para que a taxa seja precisa, ou seja, considerando a recarga direta e indireta, ainda é necessário somar à vazão que infiltra ($Q_{INFILTRAÇÃO\ DIFUSA}$) as perdas da rede de abastecimento e de coleta de esgoto conforme a Equação 8.

$$Q_{INFILTRAÇÃO} = Q_{INFILTRAÇÃO\ DIFUSA} + Q_{INFILTRAÇÃO\ PERDAS} \quad (8)$$

Em que:

$Q_{INFILTRAÇÃO}$ – Vazão que representa a recarga subterrânea potencial ou a recarga direta somada à recarga indireta (m^3/s);

$Q_{INFILTRAÇÃO\ PERDAS}$ – Vazão relativa às perdas nos sistemas de abastecimento e coleta de esgotos (m^3/s).

Para o caso do município de Ilha Solteira – SP, os dados de perdas no sistema de coleta de esgoto não foram mensurados, embora Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007) estimou em 15% do volume de água servido no abastecimento as perdas na rede de esgoto. Já as perdas para o sistema de abastecimento estão indicadas na Figura 4. Desta forma executou-se o cadastro das ocupações existentes na sub-bacia conforme Santim & Oliveira (2007) haviam feito, porém refinando-se os resultados com auxílio de ferramentas computacionais como o *ArcMap* 9.2. Além do cadastro que dividiu a área urbana em três tipos de uso: lotes; sistema viário; e áreas verdes e

praças; foram programadas as planilhas de cálculo para determinar a taxa de recarga nos anos a serem estudados.

A Figura 6 ilustra as planilhas utilizadas para o cadastro dos lotes (a); do sistema viário (b) e das áreas verdes e praças (c).



Figura 6 – Planilhas de cadastro (a) lotes; (b) sistema viário; (c) áreas verdes e praças

A Figura 7 ilustra a planilha utilizada para a entrada dos dados do coeficiente de escoamento superficial, perdas, evapotranspiração e precipitação anual total.

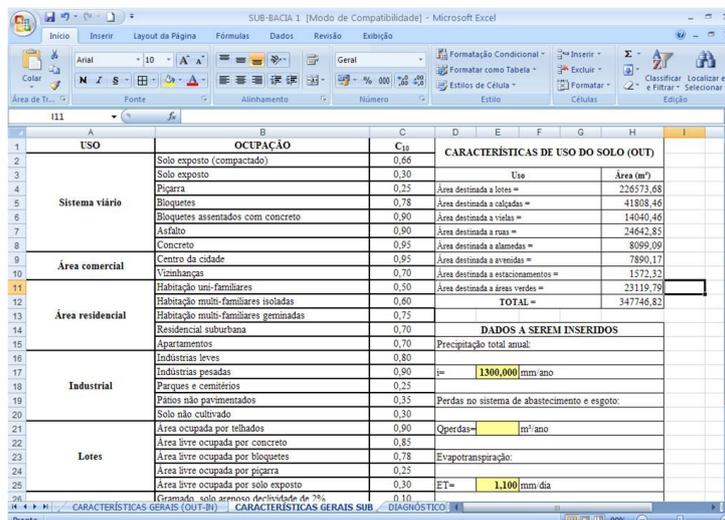


Figura 7 – Planilha de entrada dos dados

Assim, basta inserir na planilha os dados pertinentes a cada ano a ser analisado e calcular a vazão de infiltração.

Para este estudo optou-se por três anos para serem analisados:

- 1966: ano em que toda a área da sub-bacia era ocupada por gramíneas, ou cerradão, conforme Tabela 1. Com base neste ano pôde-se determinar a condição de pré-urbanização;
- 1993: primeiro ano da pós-urbanização que foi analisado. Este é o ano em que se inicia a medição de evapotranspiração e das perdas no sistema de abastecimento de água;
- 2005: segundo ano da pós-urbanização e último ano com dados disponíveis para a análise.

Outros anos foram impossibilitados de serem abordados por falta de dados ou por falta de confiabilidade nas informações apresentadas, como se pode notar na Figura 4 na qual os anos de 2002 a 2004 as perdas foram nulas.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no método proposto confeccionou-se a Tabela 3, na qual estão indicados os dados utilizados e os resultados do estudo para os anos de 1966, 1993 e 2005.

Tabela 3 – Dados e resultados

ANO	TR (anos)	AD _{TOTAL} (Km ²)	P (mm/ano)	AD _{ET} (Km ²)	ET (mm/dia)	Perdas (m ³ /ano)	Q _{PERDAS} (m ³ /ano)	Q _{EVAP} (m ³ /ano)	Q _{INF DIF} (m ³ /ano)	Q _{INF PER} (m ³ /ano)	Q _{INF} (m ³ /ano)
1966	10	0,348	1300	0,348	1,10	0,00	384540,00	139722,00	244818,00	0,00	244818,00
1993	10	0,348	1300	0,199	1,10	24367,96	289536,00	79898,50	209637,50	24367,96	234005,46
2005	10	0,348	1300	0,023	1,10	28311,38	113100,00	9234,50	103865,50	28311,38	132176,88

Pelos resultados foi possível calcular os coeficientes de escoamento superficial ponderado (C_{med}) para cada ano, sendo de 0,15 para 1966; 0,36 para 1993; e de 0,75 para 2005. Os coeficientes de perdas (F) foram iguais a 0,85; 0,64; e 0,25, respectivamente.

Por meio da Tabela 3, na coluna Q_{INF} , nota-se que para o ano de 1993 ocorria uma condição ótima da urbanização, pois a soma entre a infiltração difusa ($Q_{INF DIF}$) com a infiltração devido às perdas nos sistemas de saneamento ($Q_{INF PER}$) resultava em um volume anual próximo da condição natural da sub-bacia no cenário pré-urbanização. Entretanto, para o ano de 2005 observa-se uma redução de aproximadamente 46% no volume anual a ser infiltrado.

Segundo Prefeitura Municipal de Ilha Solteira (2007) a redução nas perdas dos sistemas de abastecimento resultava em menos gastos com tratamento e concertos, porém também resulta em uma menor taxa de infiltração, conforme os resultados apresentados.

A redução nos vazamentos é evidenciada quando se compara os anos de 1993 e 2005 pela coluna $Q_{INF PER}$ na qual se percebe que a diferença para mais de aproximadamente 4×10^3 m³/ano, enquanto a área urbana aumentou em $1,76 \times 10^5$ m², ou seja, o órgão gestor dos recursos hídricos no município conseguiu gerir o problema das perdas no abastecimento.

Os resultados apresentados poderiam ser mais acurados e representativos das condições atuais se dados das perdas nos sistemas de coleta de esgoto doméstico e pluvial fossem efetuados, bem como dados de evapotranspiração, chuva e permeabilidade do solo, pois devido à inexistência de dados e a falta confiabilidade impediram que outros anos pudessem ser avaliados.

4 – CONCLUSÕES

Contrapondo-se a característica nacional que indica uma taxa de vazamento nos sistemas de distribuição de água da ordem de 50% do volume aduzido, o município de Ilha Solteira – SP possui uma perda da ordem de 22%, ou seja, mais próxima dos 12% que é o valor observado nos países desenvolvidos, segundo Guardño (1994) *apud* Velásquez (1996).

Tal ocorrência implica que em Ilha Solteira – SP a redução da recarga indireta não é amplamente compensada pelos aportes da recarga indireta, acentuando desta forma os efeitos da urbanização na redução da recarga. Destaca-se que se o município de Ilha Solteira – SP seguisse a média nacional, para o ano de 1993 a recarga subterrânea seria superior ao cenário de pré-urbanização.

Lerner (1998) acrescentou que além da recarga indireta proveniente da rede de abastecimento de água e da rede de coleta de esgotos ainda tem-se uma fonte de recarga em potencial: as galerias de águas pluviais que também devem ter suas perdas mensuradas. Segundo Lerner (1998) apesar das redes de drenagem serem concebidas para conduzirem o escoamento superficial para fora da cidade, ao apresentarem vazamentos, elas forneceriam um grande volume de água para a recarga.

Portanto, as medidas de controle de escoamento superficial estruturais não convencionais seguem esta vertente, pois elas buscam reduzir o volume de água que escoam pelos sistemas de drenagem em decorrência do acréscimo da infiltração, este que, segundo Canholi (2005), é o princípio de contenção na fonte. De acordo com Tucci (2001) a perda de infiltração é compensada pelo aumento do escoamento superficial que pode resultar no início de processos erosivos e de assoreamento dos alvéolos, além de transtorno para a população e prejuízos ao município.

Por fim, os resultados deste trabalho podem ser incorporados às políticas de gestão dos recursos hídricos no município, norteadas ações de implantação de medidas de controle, pois dados sobre a influência da urbanização na recarga subterrânea no município são inexistentes.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de mestrado do pós-graduando Thiago Garcia da Silva Santim. Agradecemos também ao corpo técnico da prefeitura Municipal de Ilha Solteira pela liberação dos dados e mapas. Ao IPT por acolher o aluno citado no Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental (Labgeo), sob a orientação da Dr.^a Malva A. Mancuso, quando a mesma ainda não estava ligada ao LENEC.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, P. *et al*, 2000. A avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. RBRH, V5, nº 3, p 21-28.

CANHOLI, Alúcio Pardo, 2005. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 302p.

DEE, 2006. Museu Virtual da Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira FEIS/UNESP. Acessado em 09/2007.

FRANCIS, F. O., 1980. Hidráulica de meios permeáveis: escoamento em meios porosos. Rio de Janeiro: Interciência; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 89p.

FRANCO, R. A. M. *et al*, 2007. Evaporação do solo mais transpiração vegetal igual à evapotranspiração. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e dos Solos. Departamento de Hidráulica e Irrigação FEIS/UNESP. Disponível em <http://www.agr.feis.unesp.br/evapotranspiracao.php> acessado em 03/2008.

GOOGLE EARTH, 2008. Acessado em 03/2008.

IPT, 2000. Relatório nº 40.675: Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano de bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados – Relatório final. V. 1, 2 e 3. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo.

LERNER, D. N., 1998. Groundwater recharge in urban areas. In Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas - Proceedings of the Duisberg Symposium, April 1988. IAHS Publ. no. 198, 8p.

MANGE, E. R., KATO, A., 1963. Planejamento de Ilha Solteira: núcleo urbano. v.1 e 2. São Paulo, 105p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ILHA SOLTEIRA, 2007. Plano diretor – diagnóstico. Ilha Solteira: TécnuS – Prestação de Serviço em Engenharia e Urbanismo, 294p.

RIGHETTO, A. M., 1998. Hidrologia e recursos hídricos. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos - EESC – Universidade de São Paulo – USP, 819p.

SABOL, G. V. *et al*, 2003. Drainage design manual for Maricopa County, Arizona: hydrology. Flood Control District of Maricopa County and Maricopa County Department of Transportation, Phoenix, 350p.

SANTIM, T. G. da S., OLIVEIRA, J. N., 2007. Análise preliminar das modificações temporais do uso e ocupação do solo e sua interferência na drenagem urbana: o exemplo de ilha solteira. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007. São Paulo/SP. Anais Eletrônicos. São Paulo: ABRH, 1999, 19p.

SANTOS, Glaucia Rodrigues, 2005. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através de dados orbitais do satélite LANDSAT 5 – TM. Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de engenheiro agrônomo. Universidade Estadual Paulista – FEIS/UNESP, Ilha Solteira, 132p.

SÃO PAULO, 2006. Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004/2007 Resumo. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. São Paulo, DAEE, 96p. il.

TOMAZ, Plínio, 2002. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. São Paulo: Navegar Editora, 475p.

TUNDISI, J. G., 2003. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, 248p.

UNESP. Rede hidrometeorológica da UNESP de Ilha Solteira – SP, disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/clima.php>, acessado em 03.2008.

VELASQUEZ, L. N. M., 1996. Efeitos da urbanização sobre o sistema hidrológico: aspectos da recarga no aquífero freático e escoamento superficial – área piloto: sub-bacias Sumaré e Pompéia, município de São Paulo. Tese de doutorado para obtenção do título de doutor. Instituto de Geociências – USP. São Paulo.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur, 1975. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 245p.

WENDLAND, E. *et al*, 2004. Taxa de infiltração em zona de afloramento do aquífero guarani. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Cuiabá. Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - CD. São Paulo: ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas.

WILKEN, P.S., 1978. Engenharia de drenagem superficial. 1a edição. São Paulo - SP: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 478p.