

ESTIMATIVA DA TAXA DE RECARGA NA BACIA SEDIMENTAR DO RIO DO PEIXE NO SEMI – ÁRIDO PARAIBANO PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO SEQUENCIAL DIÁRIO (BALSEQ)

Gracieli Louise M. Brito¹; Hans Dieter Max Schuster² & Vajapeyam Srirangachar Srinivasan³

Resumo – A ocorrência de águas subterrâneas numa determinada localidade depende da interação entre os fatores climáticos e os fatores geológicos. A quantidade e o regime de ocorrência das precipitações atuam sobre os processos de recarga, constituindo a fonte da alimentação do manancial hídrico subterrâneo. Este trabalho apresenta a aplicação de um modelo de Balanço Hídrico Sequencial Diário (BALSEQ) – representando uma combinação do balanço hídrico diário com o modelo do escoamento superficial do número de curvas (CN) do U.S. Soil Conservation Service (SCS). Dados de precipitação e evapotranspiração no período de 2004 à 2007 foram utilizados para estimar a taxa de recarga anual na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. Observa-se que a recarga no cenário que inclui a cobertura aluvial (cerca de 40 % da área total das formações geológicas) é significativamente mais alta que a recarga no cenário sem os aluviões. O valor médio do fator *CN* encontrado para o aluvião é mais baixo do que encontrados nas outras formações geológicas, e, portanto, a taxa de infiltração é maior. O modelo foi capaz de fornecer valores de recarga bastante realísticos e parece ser uma ferramenta eficiente para a estimativa de recarga de aquíferos.

Abstract – This paper presents the application of a daily sequential water balance model – BALSEQ – to estimate the aquifer recharge rates in the sedimentary basin of the Peixe River, located in the semiarid region of the State of Paraíba in the northeast of Brazil. The water balance model calculates in daily time step the surface infiltration due to the rainfall utilizing the Curve Number(CN) method of the US – SCS and the water balance is carried out, also in daily time steps within the soil root zone to come up with the net percolation into the aquifer zone. The main inputs are: the precipitation and evapotranspiration data, soil type, depth and surface cover data and the estimates of CN values for different combinations of these. The influence of the alluvial deposits was evaluated by creating two scenarios: one in which the presence of the alluvial deposits was ignored and the other in which it was fully taken into account. The results show that the model BALSEQ is efficient in estimating realistic rates of recharge and the presence of alluvial deposits has a very significant influence on the basin recharge rates.

Palavras-Chave – Modelo BALSEQ, Recarga, Bacia Sedimentar do Rio do Peixe

¹ Engenheira Civil, MSc. Eng. Civil e Ambiental, Doutoranda em Recursos Hídricos do Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco. Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n . Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50740-530. E-mail: gracielimonteiro@yahoo.com.br

² Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia de Minas, UFCG, Av. Aprígio, 882 – Bodocongó. CEP 58109-970 Campina Grande -PB, Email: didischuster@yahoo.de

³ Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, UFCG: Email: vajapeya@dec.ufcg.edu.br

1 – INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico é indissociável. As águas superficiais e subterrâneas são o mesmo recurso fluindo por meios físicos diferentes e interagem continuamente. Esses meios são: o rio, para as águas superficiais, e o aquífero, para as águas subterrâneas.

A água subterrânea é um recurso natural imprescindível para a vida e para a integridade dos ecossistemas, representando mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do globo.

A ocorrência de águas subterrâneas numa determinada localidade depende da interação entre os fatores climáticos e os fatores geológicos. A quantidade e o regime de ocorrência das precipitações atuam sobre os processos de recarga, constituindo a fonte de origem da alimentação do manancial hídrico subterrâneo. Os fatores geológicos, por sua vez, regulam as condições de ocorrência dos corpos rochosos com características favoráveis à circulação e ao armazenamento de água subterrânea – os aquíferos. As características hidrodinâmicas das camadas aquíferas, bem como suas dimensões (extensão e espessura) e sua profundidade também estão associadas aos fatores geológicos (Cabral e Santos, 2007).

O semi-árido é a área de maior abrangência territorial dentre os espaços naturais que conformam a região Nordeste do Brasil. Do ponto de vista físico-climático, o semi-árido se caracteriza por médias térmicas elevadas (acima de 26°C) e duas estações bem distintas: uma seca na qual chove muito pouco, e uma úmida quando ocorrem precipitações irregulares que vão de um mínimo de 300 mm a um máximo de 800 mm. (MDS, 2008)

Os estudos sobre o clima regional comprovam que não é apenas a falta de chuvas a responsável pela oferta insuficiente de água na região, como também sua má distribuição, associada a uma alta taxa de evapotranspiração, que resultam no fenômeno da seca. (Cirilo et al, 2007)

Todavia, o fato do Nordeste possuir cerca de 50% de sua área representada por rochas do embasamento cristalino (metamórficas e magmáticas), de reconhecida baixa potencialidade hidrogeológica, segundo Cabral e Santos (2007), resultam em baixas taxas de recarga e os elevados índices de salinidade. Este fato contribui para a baixa disponibilidade quantitativa e qualidade não apropriada para diversos tipos de usos.

A recarga das águas subterrâneas é um fator determinante nos estudos hidrogeológicos e na gestão das extrações de água subterrânea, tendo em vista a definição de um valor de extração seguro (em termos de manutenção, em longo prazo, da quantidade e da qualidade da água).

A quantificação da recarga de águas subterrâneas é um processo estimativo, uma vez que não é passível de ser medido diretamente, e existem normalmente dificuldades no que concerne à validação dos resultados obtidos pela aplicação de qualquer método. Devido a esta complexidade

inerente de tratar o problema de recarga, existem vários métodos com resultados, mais ou menos confiáveis para fazer uma boa estimativa da recarga da água subterrânea. (Oliveira et. al, 2004b)

De um modo geral, define-se recarga de águas subterrâneas como a quantidade de água que se acrescenta à zona saturada de água subterrânea. Esta recarga vai provocar o aumento do armazenamento de água da zona saturada (Oliveira et. al, 2004a). A recarga pode ocorrer por infiltração da água da chuva, por infiltração a partir de cursos de água e de outros corpos hídricos superficiais, por escoamento subterrâneo, por infiltração da água de irrigação e/ou por ação humana (recarga artificial).

A recarga do aquífero é o elemento mais importante para o aproveitamento sustentável de recursos hídricos subterrâneos. Entretanto, a recarga é a variável do ciclo hidrológico, mais complexa a ser determinada porque é um processo que ocorre dentro da terra, não é visível, e que ocorre de forma difusa, não sendo possível sua medição direta. (Oliveira, 2004). Atualmente é difícil estabelecer um único método de recarga seguro devido à complexidade dos fenômenos e grande variedade de situações encontradas nos processos pelos quais se dá a recarga. (Oliveira, 2004) O método do balanço hídrico se apresenta como um bom caminho para a estimativa, desde que seja possível, obter a estimativa correta da quantidade de infiltração na superfície e determinar as demandas na zona na saturada.

O presente trabalho tem como objetivo geral ajustar e analisar a simulação de balanço hídrico voltado a estimativa da taxa de recarga na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, através do modelo de balanço hídrico seqüencial diário, chamado BALSEQ (Paralta et al., 2003) utilizando dados climáticos do período de janeiro de 2004 à julho de 2007.

Modelo de Balanço Hídrico Seqüencial Diário (BALSEQ)

O modelo BALSEQ é um modelo numérico de Balanço Hídrico Seqüencial Diário, desenvolvido em 1981 por Lobo Ferreira para a estimativa da recarga de águas subterrâneas na Ilha de Porto Santo (Paralta et. al, 2003).

Sempre que o meio geológico subjacente ao solo saturado é capaz de receber a água de infiltração profunda esta é equivalente à recarga, isto é, admite-se que não há camadas menos permeáveis na zona vadosa abaixo do solo, resultando que o valor da infiltração profunda, calculado para cada dia, traduzirá o valor da recarga que ocorrerá no dia seguinte.

O modelo BALSEQ permite obter estimativas de infiltração profunda por incremento do tempo considerado no balanço. Pelo processo de escoamento na zona vadosa os impulsos de infiltração profunda estimados para cada incremento de tempo são atenuados pela redistribuição da

umidade na zona vadosa obtendo-se, assim, um valor de infiltração profunda que não reflete, necessariamente, o mesmo valor do impulso de recarga um determinado tempo depois.

Este modelo já teve diversas aplicações em Portugal (no Sistema Aquífero dos Gabros de Beja (Paralta et. al, 2003) e concelho de Montenor- o- Novo (Oliveira, 2004) na Índia, no concelho de Bardez, estado de Goa (Chachadi et al. apud Paralta, 2001), entre outras.

Oliveira (2004) classifica o modelo BALSEQ como modelo de balanço hídrico acima da zona saturada, ou seja, como modelos de previsão. Esses modelos podem nos fornecer estimativas da recarga distribuída (ou mais corretamente, da infiltração profunda distribuída) por uma região de estudo. Sugere que, em caso de se caracterizar uma região em estudo pelas suas séries médias de precipitação e evapotranspiração potencial e pelos parâmetros médios característicos dessa região, pode-se obter uma estimativa da recarga média; no entanto este procedimento não é recomendado porque o processo de recarga distribuída não é linear, portanto, recomenda-se o cálculo da recarga distribuída dessa região, dividindo a região em áreas homogêneas onde se possa considerar que as séries utilizadas e os parâmetros caracterizadores do meio sejam constantes.

2 – BACIA SEDIMENTAR DO RIO DO PEIXE

O trabalho foi desenvolvido na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, que possui uma área de aproximadamente de 1.300 km². Está localizada na porção semi-árida do estado da Paraíba, limitada aproximadamente pelos meridianos 38° 45' e 37° 40' de Longitude W de Greenwich e entre os paralelos 06° 25' e 06° 55' de Latitude Sul. (Fig. 1)



Figura 1. Localização da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe no estado da Paraíba.
(Fonte: Kunzler, 2007)

Caracterizada por chuvas irregulares, alto índice de evaporação e salinidade. A pluviometria média anual histórica é de 850 mm/ano, duas estações climáticas são observadas por ano: a chuvosa, janeiro à maio (4 meses), e a seca, junho à dezembro (8 meses). Considerando a média da

estação de São Gonçalo, a temperatura média anual fica em torno de 26,5° C e a evapotranspiração potencial média do local é de cerca de 1600 mm/ano. A Figura 2 apresenta a distribuição espacial das chuvas na região.

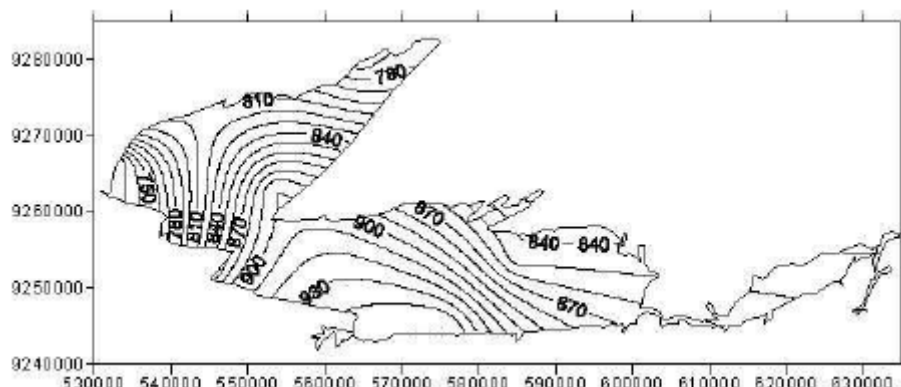


Figura 2. Distribuição espacial da precipitação, em mm, na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe.

Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH, 2006), o Sistema Rio do Peixe é classificado como do tipo multiaqüífero. A sua alimentação faz-se ou pela infiltração de parte da chuva ou pela relação de troca entre os aqüíferos ditada pelas suas respectivas cargas hidráulicas. A saída de água desses sistemas faz-se pelos rios do Peixe e Piranhas. Na sub-bacia de Brejo das Freiras, o açude de Pilões, localizado no interior desta, nas proximidades do Alto de Santa Helena, constitui-se em outro ponto de descarga do escoamento subterrâneo natural.

Com relação ao conhecimento geológico, os principais aqüíferos que ocorrem na bacia sedimentar do Rio do Peixe, possuem a seguinte seqüência estratigráfica: Formação Antenor Navarro, Formação Sousa, Formação Rio Piranhas e Aluviões.

O uso das águas subterrâneas no Sistema Rio do Peixe tem um potencial da ordem de 9 milhões de metros cúbicos anuais. A qualidade de suas águas apresenta restrições para consumo humano, já que mais de 70% delas apresenta salinidade superior aos índices de potabilidade exigidos pela ABNT. Mesmo assim, o sistema é, atualmente, utilizado para o abastecimento da população rural e, principalmente, do rebanho. (PERH, 2006)

3 – O MODELO BALSEQ

O modelo BALSEQ permite obter estimativas de infiltração profunda por incremento do tempo considerado no balanço. Pelo processo de escoamento na zona vadosa os impulsos de infiltração profunda estimados para cada incremento de tempo são atenuados pela redistribuição da umidade na zona vadosa obtendo-se, assim, um valor de infiltração profunda que não reflete, necessariamente, o mesmo valor do impulso de recarga um determinado tempo depois.

Oliveira (2004) classifica o modelo BALSEQ como modelo de balanço hídrico acima da zona saturada, ou seja, como modelos de previsão. Esses modelos podem nos fornecer estimativas da recarga distribuída (ou mais corretamente, da infiltração profunda distribuída) por uma região de estudo. Sugere que, em caso de se caracterizar uma região em estudo pelas suas séries médias de precipitação e evapotranspiração potencial e pelos parâmetros médios característicos dessa região, pode-se obter uma estimativa da recarga média; no entanto este procedimento não é recomendado porque o processo de recarga distribuída não é linear, portanto, recomenda-se o cálculo da recarga distribuída dessa região, dividindo a região em áreas homogêneas onde se possa considerar que as séries utilizadas e os parâmetros caracterizadores do meio sejam constantes.

Segundo Oliveira et al. (2004b), o modelo consiste em dividir a água em cinco componentes: o escoamento direto, a infiltração superficial, a evapotranspiração real, a água retida no solo e a infiltração profunda, assim para calcular a recarga são necessários:

- ✓ Dados diários de precipitação (P);
- ✓ Dados diários de evapotranspiração (ETP);
- ✓ Valores do fator CN (*Curve Number*) - Método do *U.S. Soil Conservation Service* (*SCS*) para determinar o escoamento superficial;
- ✓ Valores do parâmetro $AGUT$, que significa a quantidade de água disponível para a evapotranspiração, obtido através da capacidade de campo do solo (Cc), do seu ponto de murchamento (PM) e da profundidade das raízes das plantas (Rp), definido pela expressão $AGUT = (Cc - PM) \times Rp$;
- ✓ O valor da quantidade de água retida no solo no primeiro dia do balanço hídrico a ser efetuado (Ai).

A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe é formada por três sub-bacias: sub-bacia Brejo das Freiras, sub-bacia Sousa e sub-bacia Pombal. A metodologia utilizada para a determinação da recarga foi dividida em dois cenários em função da influência ou não dos aluviões no processo da recarga.

As Etapas para Estimativa da Taxa de Recarga

- i) Cálculo da precipitação média diária na bacia sedimentar;
- ii) Cálculo da evapotranspiração potencial através dos métodos de Thornthwaite;
- iii) Estimativa dos parâmetros CN , $AGUT$ e Ai ;
- iv) Aplicação do BALSEQ, segundo o fluxograma da Figura 3 levando em consideração as seguintes etapas:

Etapa 1: Ler as taxa de precipitação diária e de evapotranspiração potencial diária estimada pelo método Thornthwaite através da Equação 1;

$$\begin{aligned}
 ETP &= B \cdot T_m^a \\
 a &= 67,5 \cdot 10^{-8} \cdot I^3 - 17,1 \cdot 10^{-6} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492 \\
 I &= \sum_1^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,51} \\
 b &= \frac{N}{12}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Etapa 2: Determinar a taxa de escoamento E_d , em caso que a precipitação P ultrapasse o valor $5080/CN - 50,8$:

$$E_d = \frac{25,4 \cdot (P/25,4 - 200/NC + 2)^2}{P/25,4 + 800/NC - 8} \tag{2}$$

Etapa 3: Cálculo da taxa diária de infiltração superficial, I_s , e da taxa de água armazenada no solo ao longo de dia, H_i ; O valor de A_i para o primeiro dia foi considerado igual a zero.

Etapa 4: Comparação se a água armazenada, H_i , é menor ou maior que evapotranspiração, ETP ;

Etapa 5: Comparação se a água armazenada, H_i , é menor ou maior que a quantidade máxima de água disponível no solo para evapotranspiração, $AGUT$:

$$AGUT = (C_c - PM) \cdot R_p \tag{3}$$

onde C_c = capacidade de campo, PM = ponto de murchamento e, R_p = profundidade das raízes.

Etapa 6: No caso SIM, a infiltração profunda, I_p , e a água armazenada no solo no final do dia, A_i , são:

$$\begin{aligned}
 I_p &= H_i - AGUT \\
 A_i &= AGUT
 \end{aligned} \tag{4}$$

O balanço hídrico termina depois um ciclo de i dias e o fluxograma de cálculo é apresentado na Fig.3.

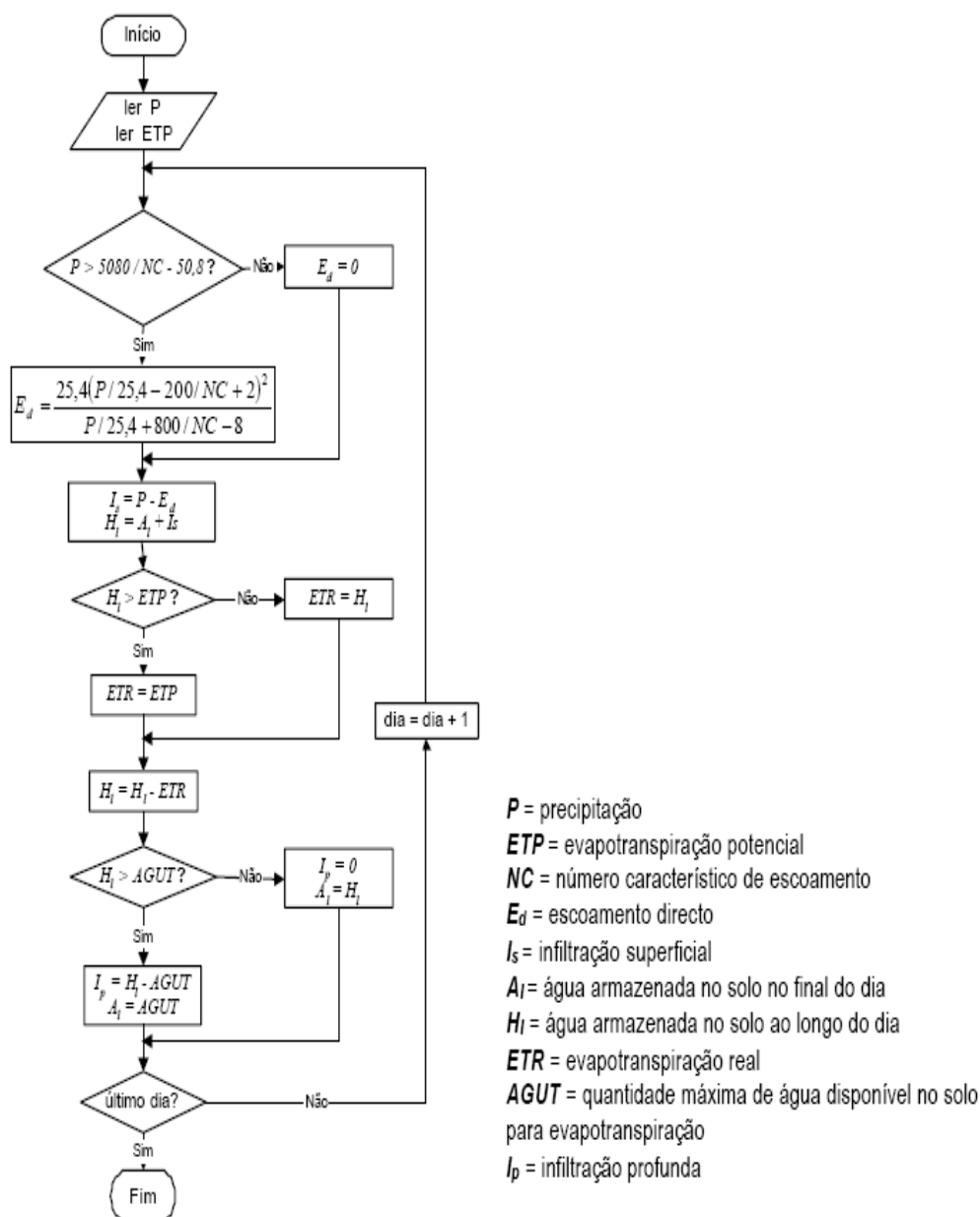


Figura 3. Fluxograma de funcionamento do modelo numérico de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ (Fonte: Paralta et. al, 2003).

4 – APLICAÇÃO DO MODELO BALSEQ NA BACIA DO PEIXE

Rede de pluviômetros

Existem diversos métodos para determinar a precipitação média numa área, conforme a ponderação que se faz das observações pontuais disponíveis. Os métodos mais usuais são: método da média aritmética, método de Thiessen e método das isoietas. Na aplicação do modelo, utilizou-se o método de Thiessen com a finalidade de ponderar a influência de cada posto pluviométrico da área de estudo aplicado em uma série média diária de precipitação no período de janeiro/2004 à

julho/2007 de 11 estações. Vale salientar que em algumas estações em determinados períodos não possuem dados registrados.

A Figura 4 mostra a bacia sedimentar do Rio de Peixe discretizada pelos polígonos de Thiessen que refletem as áreas de influência das 11 estações pluviométricas instaladas nessa região e a Tabela 1 apresenta a porcentagem dessa área.

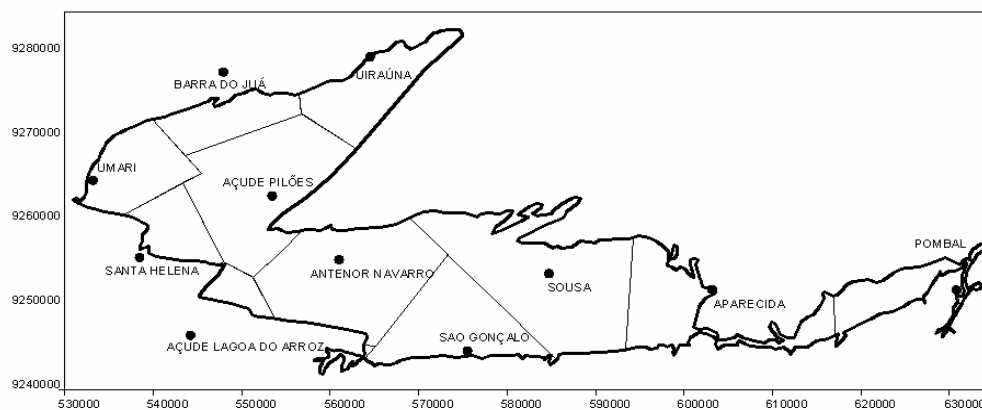


Figura 4. Bacia Rio do Peixe com as 11 estações pluviométricas e suas respectivas áreas de influência.

Tabela 1. Estações Pluviométricas e suas respectivas áreas de influência

Estação	Latitude	Longitude	Área (Km ²)	Porcentagem da Área (%)
Açude de Pilões	-6:40:00	-38:31:00	198,55	15,10%
Açude Lagoa do Arroz	-6:49:00	-38:36:00	26,37	2,00%
Antenor Navarro	-6:44:07	-38:26:56	204,97	15,58%
Aparecida	-6:46:00	-38:40:00	116,90	8,89%
Barra do Juá/Triunfo	-6:32:00	-38:34:00	68,93	5,24%
Pombal	-6:46:00	-37:49:00	62,83	4,78%
Santa Helena	-6:34:00	38:42:00	57,88	4,40%
São Gonçalo	-6:50:00	-38:19:00	139,07	10,57%
Sousa	-6:45:00	-38:14:00	250,16	19,02%
Uiraúna	-6:31:00	-38:25:00	99,76	7,58%
Umari	-6:38:00	-38:42:00	89,90	6,83%
Área Total = 1.315,42 km²				

Tipo de cobertura vegetal e solo

O modelo BALSEQ calcula o escoamento superficial, E_d , com base na curva característica de escoamento, CN , e a infiltração profunda, ou seja, a recarga I_p

Estimar o escoamento superficial ou direto, E_d , utiliza-se o método do United States Soil Conservation Service (U.S.SCS, 1972), que define o número característico de escoamento, CN , em função do tipo e uso do solo. Os valores de CN variam entre 0 (correspondendo a um solo de

permeabilidade vertical infinita, em que toda a água se infiltra no solo) e 100 (que corresponde a uma zona completamente impermeável).

De acordo com o PERH (2006), os solos e os tipos de terrenos (afloramentos de rochas) da bacia do Rio do Peixe foram enquadrados em Classes de Capacidade de Uso das Terras. As principais características da classe de capacidade de uso de solo da bacia são:

Uso 2: são terras próprias para culturas permanentes, principalmente pastagens ou reflorestamento;

Uso 3: consistem em terras regulares, que podem ser cultivadas sem risco de erosão desde que sejam empregadas as práticas agronômicas de terraço ou plantio de faixas;

Uso 4: são terras não cultivadas com severas limitações para culturas permanentes e reflorestamento

Uso 5: Terras íngremes mais susceptíveis a erosão, próprias para cultivos contínuos e que se prestam mais para lavoura esporádica

Uso 6: Terras com pedregosidade, severamente erodidas, arenosas e encharcadas, próprias para o abrigo de fauna silvestre e preservação de flora natural

Para a caracterização do tipo de solo da bacia do Rio do Peixe considerou-se apenas três (A, C, D) das quatro classes (A à D) (Fig. 5):

Tipo A: Apresentam baixo potencial de escoamento direto e elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente umedecidos. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila. Possuem uma elevada transmissividade.

Tipo C: Possuem potencial de escoamento direto acima da média e baixa intensidade de infiltração, quando completamente umedecidos. Contém porcentagem considerável de argila e pouco profundo, solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina. Estes solos possuem uma transmissividade baixa.

Tipo D: Apresentam um potencial de escoamento direto elevado e intensidades de infiltração muito baixas quando completamente umedecidos. Incluem essencialmente solos argilosos expansíveis, solos com o nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade. Estes solos possuem uma transmissividade muito baixa.

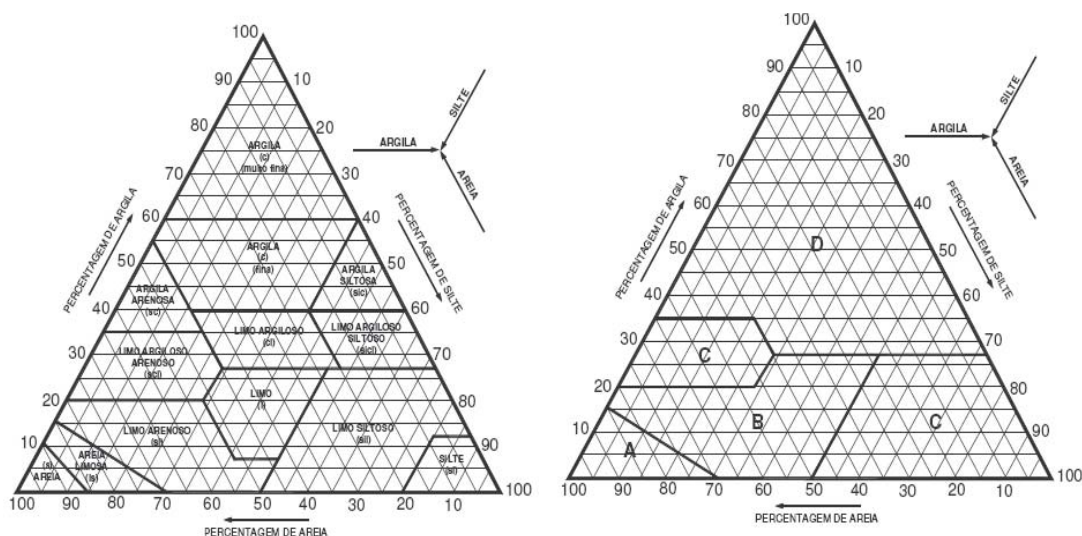


Figura 5. Caracterização do tipo de solo devido ao teor de argila, silte e areia (Lança, 2007).

A Tabela 2 apresenta a classificação do tipo de solo considerada na em cada formação geológica presente na área de estudo.

Tabela 2. Condições antecedentes de umidade do solo. (Tucci, 1993)

Condição	Precipitação ocorrida durante os últimos cinco dias (mm)	
	Período úmido: janeiro – maio	Período seco: junho – dezembro
I	$P < 36$ mm	$P < 13$ mm
II	$36 \text{ mm} < P < 53$ mm	$13 \text{ mm} < P < 28$ mm
III	$P > 53$ mm	$P > 28$ mm

Nesta análise considera-se a parte superficial do terreno em relação com sua maior ou menor capacidade de infiltração, que depende da classe e densidade da vegetação e da forma e tipo das culturas realizadas. O valor do parâmetro *CN* aplicável para uma bacia ou área depende do tipo do solo, seu uso, e as condições da superfície e pode ser encontrado em tabelas para condições médias da umidade antecedente no solo (Tucci,1993). Valores maiores de *CN* significam maiores escoamentos superficiais e, portanto, menores infiltrações na superfície do solo.

A condição de umidade antecedente do solo em cada dia é estabelecida em função da chuva caída durante os cinco dias anteriores e assim, define-se, três condições do valor de *CN*, como se segue.

CN_I – corresponde à curva número para a condição I de umidade, situação em que os solos estão secos;

CN_{II} – corresponde à curva número para a condição II de umidade, ou seja, situação média em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo;

CN_{III} - corresponde à curva número para a condição III de umidade, situação em que os solos estão saturados.

Os valores de CN_I e CN_{III} podem ser obtidos a partir dos valores de CN_{II} tabelados pelas seguintes relações:

$$CN_I = \frac{4,2 \cdot CN_{II}}{10 - 0,058 \cdot CN_{II}} \quad (5)$$

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0,13 \cdot CN_{II}} \quad (6)$$

Avaliação da recarga pelo modelo BALSEQ

A simulação foi feita para estimar a taxas de recarga das três sub-bacias (Sub-Bacia Brejo das Freiras, Sub-Bacia Sousa e Sub-Bacia Pombal). Foram simulados dois cenários de recarga: (1) as três sub-bacias sem considerar a existência dos aluviões e (2) as três sub-bacias com os respectivos aluviões.

A Figura 6 apresenta o mapa geológico e a Figura 7 apresenta as classes de capacidade de uso das terras. Com base nessas informações fornecidas pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PERH) de 2006 foi possível a sobreposição dos mapas obtendo assim as informações necessárias para atribuição do parâmetro CN que consiste na curva característica do escoamento do solo. O mapa resultante é o mapa de base para o cálculo da recarga (Fig. 8 sem aluviões e Fig. 9 com aluviões).

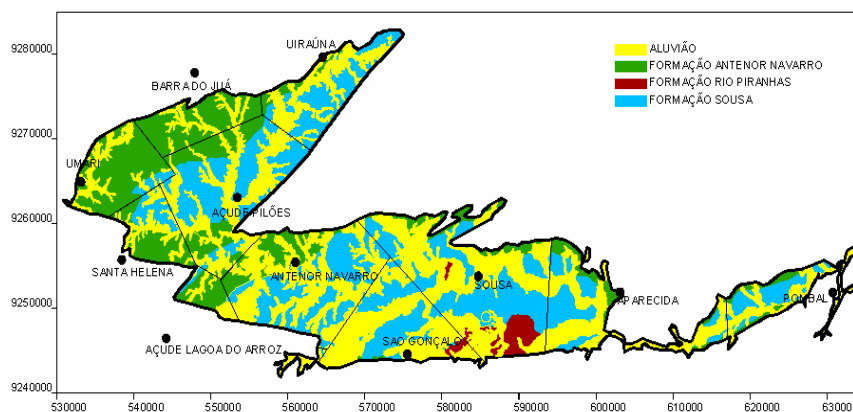


Figura 6. Caracterização litológica (tipo do solo) da bacia sedimentar do Rio do Peixe (Fonte: CPRM/UFCG, 2005).

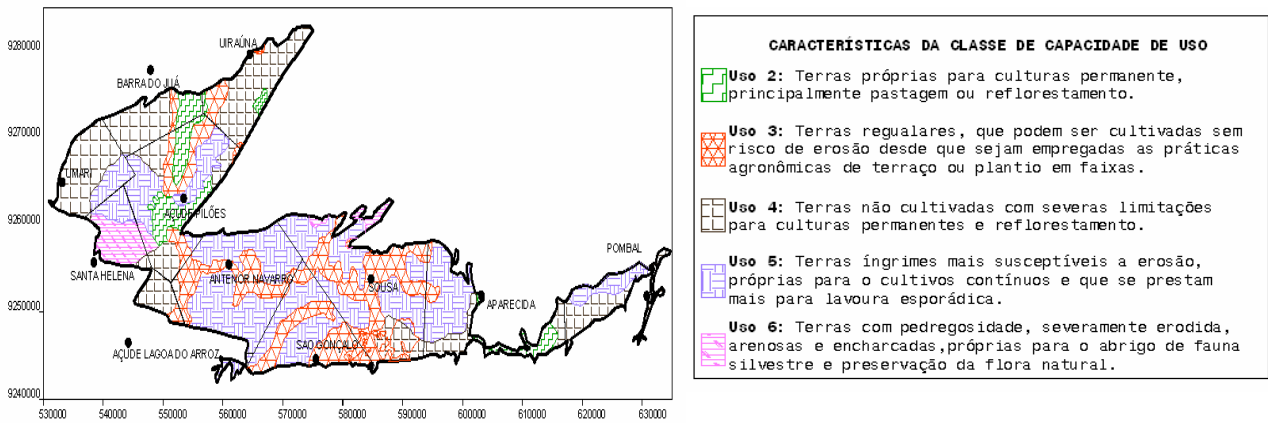


Figura 7. Caracterização da classe do uso de solo da bacia sedimentar do Rio do Peixe. (Fonte: PERH, 2006).

Cenário 1 – Sub-Bacias sem Aluviões

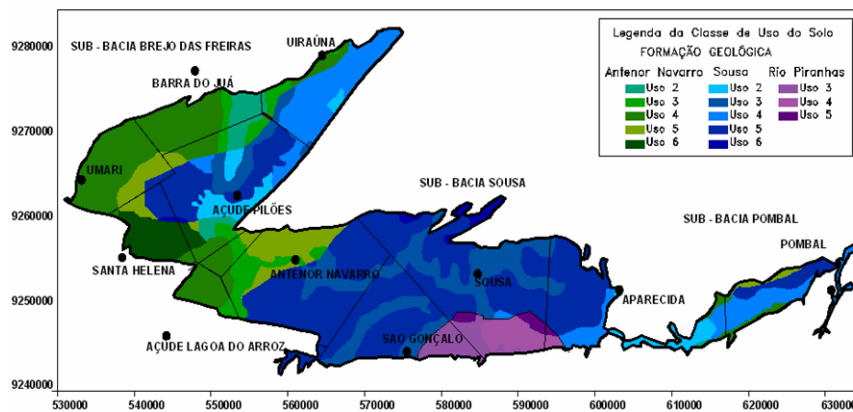


Figura 8. Mapa base resultado da superposição discretizado pelos polígonos de Thiessen para cada estação pluviométrica para o cálculo do escoamento superficial em função das Sub-Bacias Brejo das Freiras, Sousa e Pombal sem considerar os aluviões.

Cenário 2 – Sub-Bacias com Aluviões

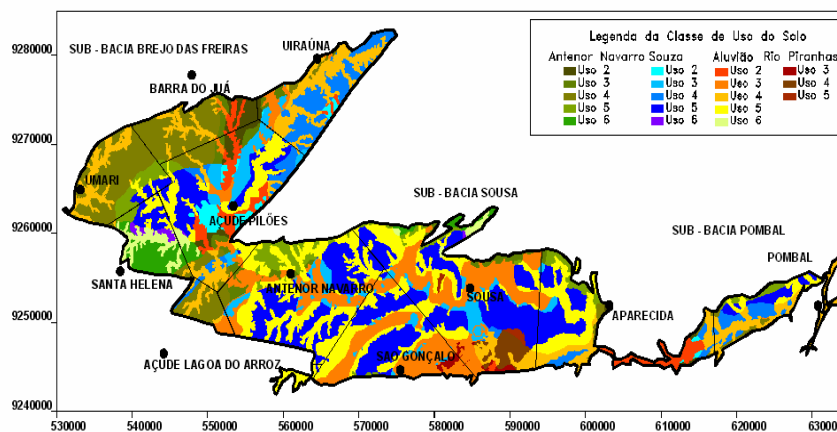


Figura 9. Mapa base resultado da superposição discretizado pelos polígonos de Thiessen para cada estação pluviométrica para o cálculo do escoamento superficial em função das Sub-Bacias Brejo das Freiras, Sousa e Pombal com os aluviões.

A partir dos mapas (Figs. 8 e 9) foram calculadas as respectivas áreas dos polígonos das 11 estações pluviométricas instaladas nas três sub-bacias, uma vez sem os aluviões (Tab. 3) e, outra vez com os aluviões (Tab. 4).

Tabela 3. Áreas dos polígonos das estações pluviométricas instaladas nas três Sub-Bacias sem considerar os aluviões (Fig. 8)

Estações Pluviométricas	ÁREAS (Km ²)							
	BF-AN	BF-SS	SO-AN	SO-RP	SO-SS	PO-AN	PO-SS	Total (km ²)
Umari	86,00	3,90	-	-	-	-	-	89,90
Triunfo/Barra do Juá	68,93	-	-	-	-	-	-	68,93
Santa Helena	46,29	11,59	-	-	-	-	-	57,88
Açude de Pilões	58,57	123,04	16,72	-	-	-	-	198,33
Uiraúna	19,38	80,37	-	-	-	-	-	99,76
Açude Lagoa do Arroz	0,20	-	26,17	-	-	-	-	26,37
Antenor Navarro	-	-	66,89	-	138,08	-	-	204,97
São Gonçalo	-	-	-	20,36	118,71	-	-	139,07
Sousa	-	-	-	47,73	202,43	-	-	250,16
Aparecida	-	-	-	4,56	85,62	4,81	21,82	116,82
Pombal	-	-	-	-	-	12,88	50,37	63,26
Área Total (Km ²)	279,37	218,91	109,78	72,65	544,85	17,69	72,19	1315,45
%A	21,24%	16,64%	8,35%	5,52%	41,42%	1,35%	5,49%	100,00%

Onde: BF = Sub-bacia Brejo das Freiras; SO = Sub-bacia Sousa; PO = Sub-bacia Pombal
AN = Form. Geológica Antenor Navarro; SS = Form. Geológica Sousa e RP = Form. Geológica Rio Piranhas

Tabela 4. Áreas dos polígonos das estações pluviométricas instaladas nas três Sub-Bacias considerando os aluviões (Fig. 9)

Estações Pluviométricas	ÁREAS (Km ²)										
	BF-AL	BF-AN	BF-SS	SO-AL	SO-AN	SO-RP	SO-SS	PO-AL	PO-AN	PO-SS	Total (km ²)
Umari	20,45	63,59	6,12	-	-	-	-	-	-	-	89,90
Triunfo/Barra do Juá	12,29	56,64	-	-	-	-	-	-	-	-	68,93
Santa Helena	15,90	28,36	13,79	-	-	-	-	-	-	-	57,88
Açude de Pilões	57,53	45,17	78,49	9,34	3,66	-	4,16	-	-	-	198,33
Uiraúna	39,15	7,70	52,91	-	-	-	-	-	-	-	99,76
Açude Lagoa do Arroz	0,20	-	-	7,81	16,24	-	2,07	-	-	-	26,37
Antenor Navarro	-	-	-	84,50	34,42	-	86,14	-	-	-	204,97
São Gonçalo	-	-	-	82,00	1,22	3,30	52,51	-	-	-	139,07
Sousa	-	-	-	107,54	21,7	23,9	96,62	-	-	-	250,17
Aparecida	-	-	-	39,21	16,48	-	35,45	18,92	1,80	4,94	116,81
Pombal	-	-	-	-	-	-	-	28,99	10,64	24,60	63,26
Área Total (Km ²)	145,51	201,46	151,31	330,40	93,72	27,20	275,96	47,91	12,44	29,54	1315,45
%A	11,06%	15,31%	11,80%	25,12%	7,13%	2,07%	20,98%	3,64%	0,95%	2,25%	100,00%

Em virtude da ausência de dados registrados para a estação Aparecida no ano de 2007, sua área de influência foi distribuída entre as estações próximas. Assim, a área de Sousa passou a ter 338,13 km² e Pombal, 92,11 km².

5 – RESULTADOS

A precipitação média anual foi calculada pelo método de Thiessen. As estações pluviométricas consideradas foram: Açude de Pilões, Açude Lagoa do Arroz, Antenor Navarro,

Aparecida, Barra do Juá/Triunfo, Pombal, Santa Helena, São Gonçalo, Sousa, Uiraúna e Umari. Para cada estação foi encontrada sua respectiva área de influência.

Nos anos de 2004 e 2006 a média pluviométrica estava acima da média histórica de 850mm/ano, ou seja 33% (P2004 = 1131,18mm) e 19,71% (P2006 = 1017,38mm) respectivamente, enquanto que em 2005 ocorreu um decréscimo de 26,51% em relação à média histórica (P2005 = 624,65mm). No ano de 2007 o período de chuva é analisado até julho apresentando uma diferença para a média histórica de 213,47mm.

O modelo BALSEQ, que foi desenvolvido no ambiente EXCELTM, solicita as taxas diárias de precipitação e evapotranspiração potencial. A simulação foi feita para estimar a taxas de recarga das três sub-bacias (Sub-Bacia Brejo das Freiras, Sub-Bacia Sousa e Sub-Bacia Pombal). Foram simulados dois cenários de recarga: (1) as três sub-bacias sem considerar a existência dos aluviões e (2) as três sub-bacias com os respectivos aluviões.

A adoção desses dois cenários teve como objetivo verificar a influência da presença da formação aluvial superficial sobre o processo de recarga, tendo em vista que o sistema aquífero da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe é composto de vários níveis, separados entre si, e a recarga nas formações aluviais pode ficar restrita a esse nível, não alcançando zonas aquíferos mais profundas.

O parâmetro *AGUT* foi estabelecido com base em comunicações pessoais de pesquisadores da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG, que forneceram as estimativas de valores de capacidade de campo, C_c , e de ponto de murchamento, PM , distribuídos na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. A partir das características do tipo de solo foram considerados os seguintes valores das profundidade das raízes, R_p : para os aluviões, 600 mm, para Antenor Navarro e Rio Piranhas, 800 mm e para Sousa, 1000 mm. A partir destas informações, foram calculados os valores de *AGUT*, para o aluvião foi encontrado o valor de 85, Antenor Navarro, 120; Rio Piranhas, 120 e Sousa, 150.

Para cada posto pluviométrico foi encontrado um valor médio do parâmetro *AGUT* através da ponderação da área e da geologia (Tab. 5). Em virtude da falta de dados para o posto pluviométrico de Aparecida no ano de 2007, ocorre um aumento das áreas de influência dos postos de Sousa e Pombal, passando o valor de *AGUT* para 116,69mm e 110,47mm, respectivamente.

O modelo BALSEQ forneceu as recargas das sub-bacias da Bacia Sedimentar do Rio de Peixe nos anos de 2004 a 2007 para o cenário 1 (sem aluvião) e o cenário 2 (com aluvião), as quais estão apresentadas na Tabela 6 e na correspondente Figura 10 apresentam as taxas de recarga nas sub-bacias e a recarga média em toda a bacia também pode ser encontrada na referida tabela.

Tabela 5. Parâmetro *AGUT* para cada estação pluviométrica.

Posto Pluviométrico	AGUT Médio (mm)
Umari	114,09
Barra do Juá	113,76
Santa Helena	117,59
Açude de Pilões	120,70
Uirauna	122,17
Açude Lagoa do Arroz	111,66
Antenor Navarro	118,18
São Gonçalo	110,68
Sousa	116,47
Aparecida	112,95
Pombal	115,43

Tabela 6. Taxas de recarga anuais (2004-2007) das Sub-Bacias e médias na bacia para cenário 1 e cenário 2

Sub - Bacia	Área (km ²)	ANO 2004			ANO 2005		
		Precipitação (mm)	Cenário 1 Recarga (mm)	Cenário 2 Recarga (mm)	Precipitação (mm)	Cenário 1 Recarga (mm)	Cenário 2 Recarga (mm)
Brejo das Freiras	498,28	1033,30	99,37	211,60	602,40	9,47	39,08
Sousa	727,18	1177,04	38,48	213,42	639,60	2,65	72,50
Pombal	89,93	1302,54	53,13	283,78	627,11	0,00	38,22
Valor médio (mm)		1131,18	62,55	217,54	624,65	5,05	57,49
Taxa de Recarga (%)		-	5,53%	19,23%	-	0,81%	9,20%
Sub - Bacia	Área (km ²)	ANO 2006			ANO 2007		
		Precipitação (mm)	Cenário 1 Recarga (mm)	Cenário 2 Recarga (mm)	Precipitação (mm)	Cenário 1 Recarga (mm)	Cenário 2 Recarga (mm)
Brejo das Freiras	498,28	954,86	89,69	188,71	535,53	0,00	19,22
Sousa	727,18	1071,48	77,59	296,70	682,26	0,42	11,91
Pombal	89,93	926,40	53,75	236,84	826,20	0,00	70,28
Valor médio (mm)		1017,38	80,54	251,70	636,53	0,24	18,67
Taxa de Recarga (%)		-	7,92%	24,74%	-	0,04%	2,93%

Comparando os dois cenários simulados, as taxas médias de recarga em toda a bacia, nos anos de 2004 a 2007 (Tab.6) foram, para o cenário 1 (sem cobertura aluvial), de 5,53%, 0,81%, 7,92% e 0,04% da taxa de precipitação, respectivamente. No cenário 2, as taxas de recarga foram 19,23%, 9,20%, 24,74% e 2,93%. Considerando as incertezas, ainda reinantes, sobre a geologia e as dimensões do sistema aquífero, os valores referidos acima podem ser considerados como limites inferiores e superiores da estimativa das taxas de recarga nos anos considerados.

Observa-se que a recarga do cenário 2, que inclui a cobertura aluvial (cerca de 40 % da área total das formações geológicas) é significativamente mais alta que a recarga do cenário 1, sem os aluviões. O valor médio do fator *CN* encontrado para o aluvião é mais baixo que aqueles das outras formações geológicas, ou seja, na superfície aluvial o escoamento superficial é menor e, portanto, a taxa de infiltração é maior.

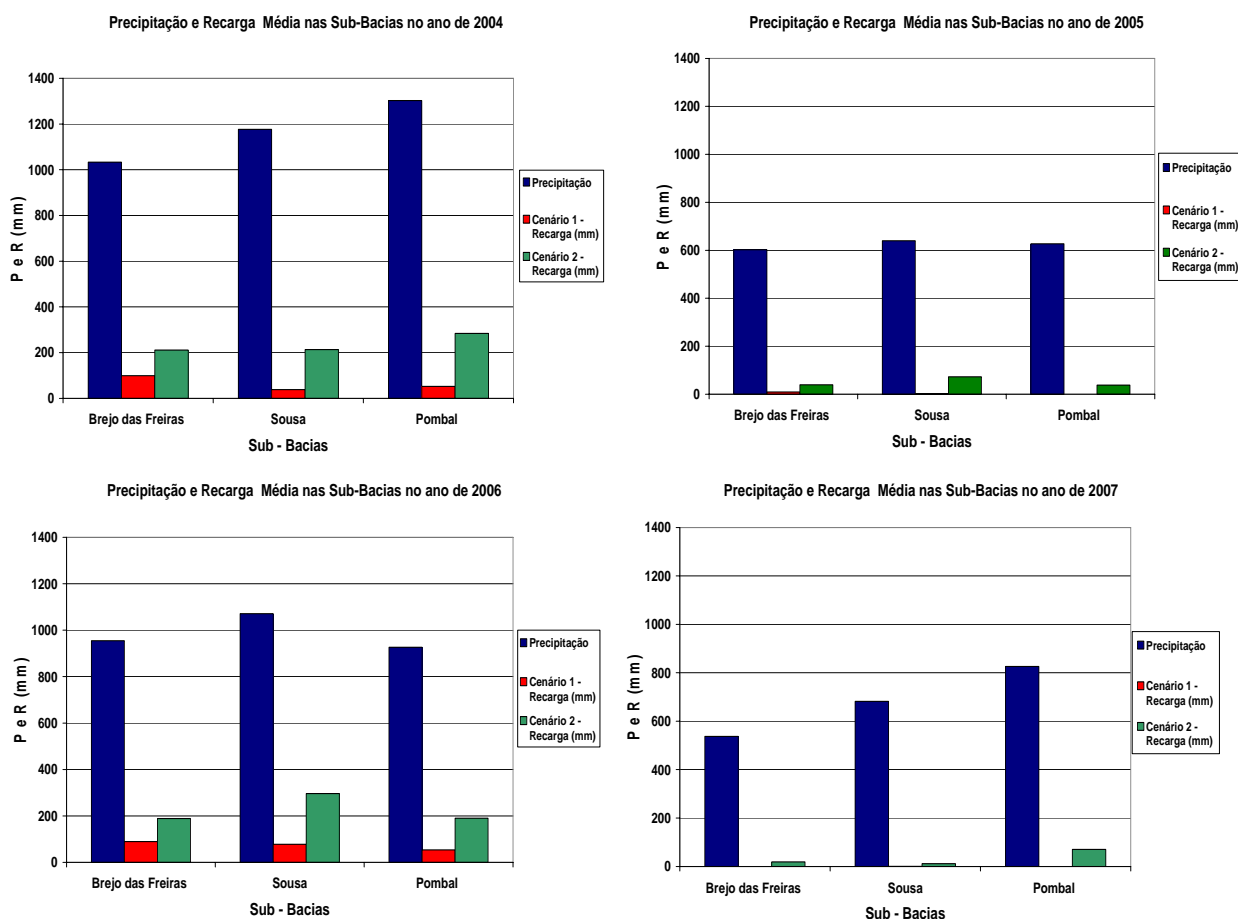


Figura 10. Taxas de recarga anuais (2004-2007) das Sub-Bacias para cenário 1 e cenário 2.

As variações espaciais da recarga para os dois cenários do modelo encontram-se nas Figuras 11 e 12.

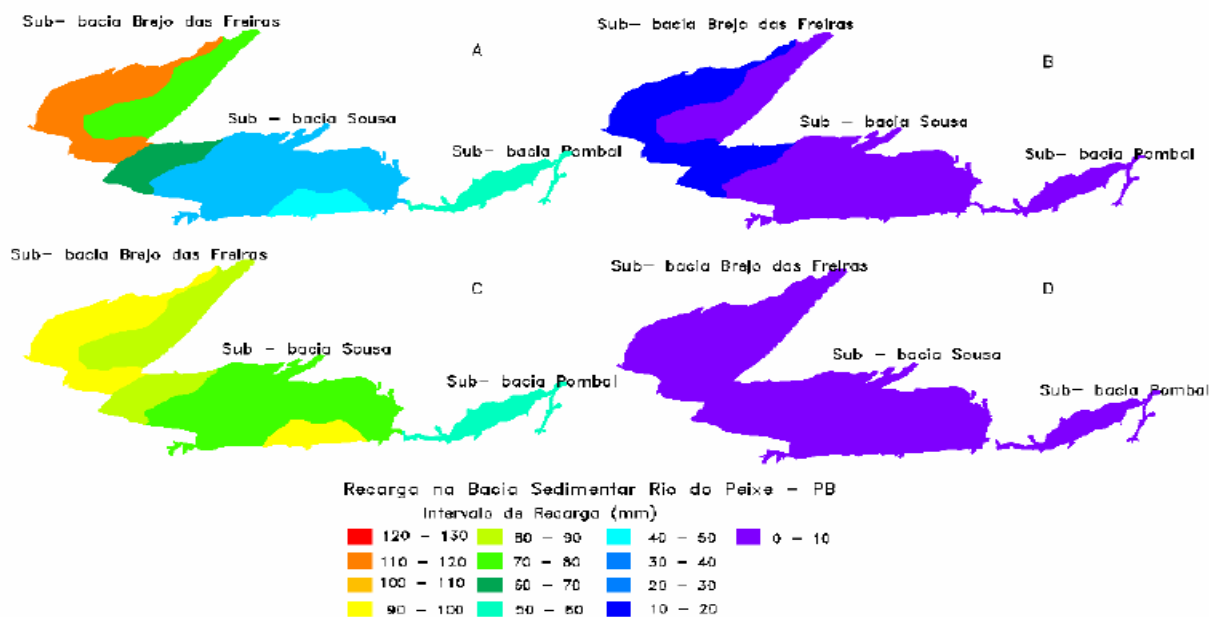


Figura 11. Distribuição espacial da recarga na Bacia Sedimentar Rio do Peixe para o cenário 1 : A) no ano de 2004; B) no ano de 2005; C) no ano de 2006 e D) no ano de 2007.

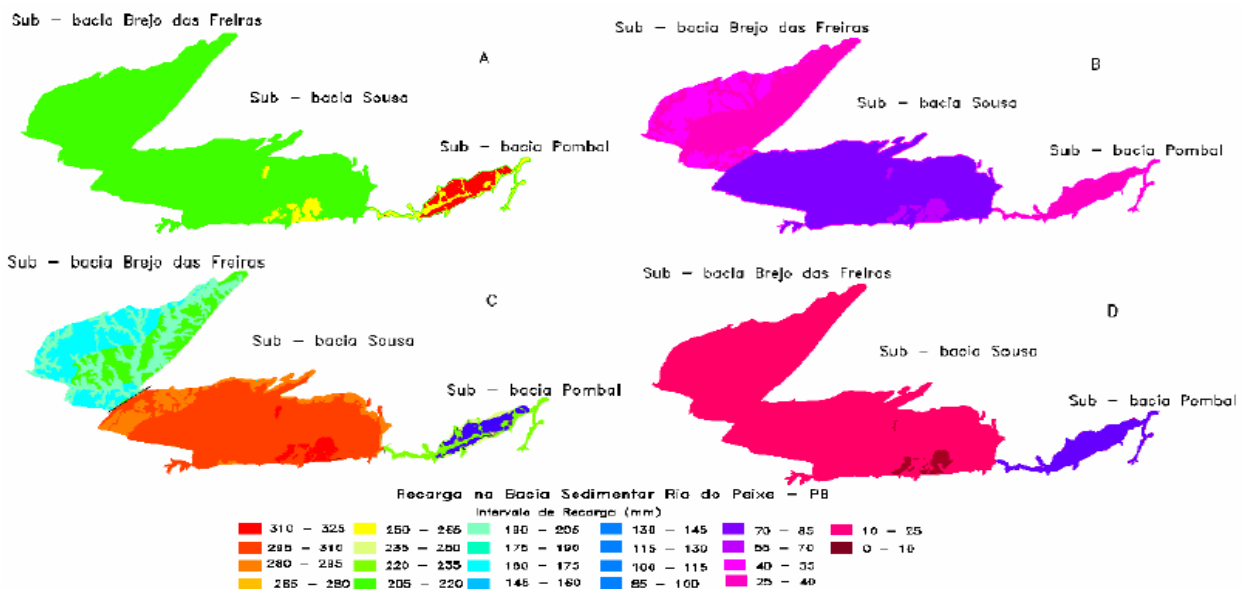


Figura 12. Distribuição espacial da recarga na Bacia Sedimentar Rio do Peixe para o cenário 2 : A) no ano de 2004; B) no ano de 2005; C) no ano de 2006 e D) no ano de 2007.

Analisando as recargas durante o período de 4 anos, observa-se que apesar de 2004 ter uma precipitação maior que 2006, a taxa de recarga no ano 2006 foi superior que no ano de 2004. Este fato ocorre em virtude da distribuição espacial da precipitação, dependendo da intensidade da chuva, variando em função do tipo de solo que a área de influência do posto pluviométrico abrange, podendo assim, ocorrer à combinação de intensidades de chuvas maiores em áreas de recarga mais propícias.

6 – CONCLUSÃO

O modelo BALSEQ calcula a infiltração profunda, em função dos parâmetros de tipo e uso de solo, empregando o método do Soil Conservation Service (1972) para o cálculo do escoamento superficial e um balanço hídrico na zona radicular. Ignorando o efeito da redistribuição da umidade na zona não saturada, esta infiltração profunda calculada representa a recarga efetiva de água subterrânea. Assim, o modelo BALSEQ é capaz de fornecer valores de recarga mais realísticos, em comparação com os demais modelos simples de balanço hídrico.

Uma comparação dos resultados proveniente da simulação por meio de modelo BALSEQ com os resultados que vêm de um modelagem numérica do fluxo subterrâneo (Kunzler, 2007) mostra uma concordância satisfatória, contudo, as taxas de recarga do modelo BALSEQ são maiores que da modelagem numérica. No referente trabalho a recarga média anual é em torno de 50 mm no ano chuvoso de 2005/2006 e apenas 36 mm no ano menos chuvoso de 2006/2007. Já o modelo BALSEQ fornece para o cenário 1 uma recarga de 80,5 mm para o ano chuvoso de 2006 e mais

baixo de 0,24 mm para o ano menos chuvoso de 2007, mas com a mesma tendência para cada área da formação geológica.

Antes de calibrar os parâmetros do modelo de BALSEQ, tais como a classificação pelos *CNs* e *AGUT*, para a bacia sedimentar do Rio de Peixe, deverão ser realizadas medições da flutuação contínua e longa duração do nível de água em vários locais diferentes na região em estudo através de um medidor de nível automático e, uma subsequente calibração dos parâmetros utilizados no modelo BALSEQ podem dar mais *insight* neste problema complexo da estimativa da recarga efetiva.

As principais vantagens do BALSEQ são a existência de um parâmetro único, o *CN*, e a ampla difusão com abundante bibliografia sobre experiências de sua utilização e seus resultados bem representativos. As principais desvantagens referem-se à desconsideração da percolação e da recuperação da capacidade de infiltração. Basicamente o método se adapta para cálculos em bacias com escassez de informação, enquadrando-se para o caso da bacia sedimentar do Rio do Peixe.

Concluindo, pode-se dizer que os métodos aplicados para a estimativa de recarga padecem de certo grau de incerteza inerente a todos os métodos de recarga conhecidos, por causa da enorme complexidade hidrológica da zona não saturada associada à falta de registros confiáveis de dados de campo em quantidade suficiente.

AGRADECIMENTOS: Os trabalhos desta pesquisa foram realizados como parte de uma rede de pesquisa de Bacias Sedimentares, formada pela integração de CPRM e diversas universidades do Nordeste e financiado pela FINEP- CT HIDRO do MCT. O estudo da Bacia do Rio do Peixe foi feito pelos pesquisadores e técnicos da UFCG e da CPRM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BNB - Banco do Nordeste (1998). *Políticas e Ações de Infra-Estrutura Para a Região Nordeste - Temática: Recursos Hídricos*. Projeto Estruturante de Políticas e Ações de Infra-Estrutura para a Região Nordeste (Cadernos de Infra-Estrutura). Fortaleza-CE.

CIRILO, J. A.; NETTO, M. S. C. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ASFORA, M. C. (2007). *Caracterização do Semi-Árido Brasileiro*. In CABRAL, J.J.S.P (Cord.) *O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, cap . 2, pp 20-37.

CABRAL, J.J.S.P.; SANTOS, S.M.(2007). *Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro*. In CABRAL, J.J.S.P (Cord.) *O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas*. Recife: Ed. Universitária da UFPE, cap . 3, pp 40-63.

CPRM-UFMG. (2005). Comportamento Hidrogeológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, Relatório Síntese com Análise Bibliográfica. Universidade Federal de Campina Grande- Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

KINZELBACH, W.; AESCHBACH, W.; ALBERICH, C., GONI, I.B. BEYERLE, U.; BRUNNER, P.; CHIANG, W. H.; RUEDDI, J.; ZOELLMANN, K. (2002). *A survey of methods for groundwater recharge in arid and semi-arid regions. Early Warning and Assessment Report Series*,

KUNZLER, J. S. (2007). *Estimativa da recarga na bacia sedimentar do Rio do Peixe através da modelagem matemática do fluxo subterrâneo*. Dissertação de Mestrado, UFG, Campina Grande.

LANÇA, R.M.M. *Aula Teórica de Hidrologia Aplicada: Capítulo I - Hidrologia de Superfície*. Disponível em: < <http://w3.ualg.pt/~rlanca/> >. Acesso em: 17 jun. 2008.

MDS (2008). MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE À FOME. Disponível em : <<http://www.mds.gov.br>>. Acesso em: 07 de julho de 2008.

OLIVEIRA, M.M. COSTA, A. M.; FRANCES, A. (2004a) *Estimativa da recarga de águas subterrâneas a partir da análise dos hidrogramas de escoamento superficial na área abrangida pela Folha 6 da Carta Hidrogeológica de Portugal à escala 1:200 000*. Relatório 379/04 - NAS, Lisboa, LNEC, Dezembro de 2004, 123 pp.

OLIVEIRA, M.M.; LOBO FERREIRA, J.P.C. (2004b). *Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do concelho de Montemor-o-Novo utilizando o Método DRASTIC*, in CABRAL, J.J.S.; LOBO FERREIRA, J.P.C.; MONTENEGRO,

OLIVEIRA, M.M. (2004). *Recarga de águas subterrâneas: Métodos de Avaliação*. Tese (Doutorado) - Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, LNEC, 2004.

PARALTA, E. A.; OLIVEIRA, M.M.; LUBCZYNSKI, M.W.; RIBEIRO, L.F. (2003). “*Avaliação da Recarga do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja Segundo Critérios Múltiplos – Disponibilidades Hídricas e Implicações Agro-Ambientais*.” In Anais do 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Lisboa, pp. 501-516

PERH. (2006). *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Resumo Executivo & Atlas, Governo do Estado da Paraíba.

SOIL CONSERVATION SERVICE. (1972). National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Dept. of Agriculture, available from U. S. Government Printing Office, Washington D.C.

TUCCI, C.E.M. (1993). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. São Paulo: Universidade Federal do Rio Grande do Sul / EDUSP.