

# Aplicação do Método da Variação do Nível do Lençol Freático para Estimativa de Recarga em Maceió-AL

*Jonathan Tenório de Lima<sup>1</sup>; Mahelvson Bazilio Chaves<sup>2</sup>;*

*Rosane Cunha Maia Nobre D.Sc.<sup>3</sup> & Manoel de Melo Maia Nobre Ph.D<sup>4</sup>*

**RESUMO** – O presente trabalho apresenta uma avaliação quantitativa do parâmetro de recarga subterrânea aplicada à restinga lagunar da região metropolitana de Maceió-AL, utilizando o método da variação do nível estático (NE). A cidade apresenta clima quente e úmido, com regime uniforme de chuvas e precipitação total anual em torno de 1900 mm. A cidade de Maceió vem sofrendo, nos últimos anos, com o aumento da exploração não planejada dos recursos hídricos, reforçando a necessidade de estudos sistêmicos para avaliação do uso racional e precauções quanto ao risco de contaminação desses recursos. Tendo em vista a escassez de métodos diretos para cálculo da recarga, os métodos indiretos tais como a metodologia de separação de hidrogramas, método do balanço hídrico e estudos de flutuação do nível do lençol freático vêm sendo os mais utilizados. Foram consolidados valores de NE de três poços tubulares próximos entre si, com registros mensais do ano de 1994 e do período de 2002-2007. Os resultados mostraram uma variação nos valores de recarga de 6 a 39% da precipitação anual, condizentes com os valores encontrados na literatura específica.

**ABSTRACT** – This paper presents a quantitative evaluation of groundwater recharge at a coastal lagoon region of the city of Maceió-AL, by using the groundwater level fluctuation method. This area has a tropical and humid climate and a total annual precipitation of about 1900 mm. In the last few years, groundwater has been indiscriminately exploited causing depletion in water table and water availability. Therefore, there is an urgent need to evaluate sustainable forms of water use and water management and recharge evaluation is a key factor. There is no available direct form to evaluate this parameter and scientists rely on indirect approaches such as the evaluation of water budgets, analysis of surface-water-discharge hydrographs and evaluation of water table fluctuations. In the present analysis, water levels data from three nearby wells were consolidated, specific to the year of 1994 and 2002-2007 period. Results indicated values of recharge from 6 to 39% of total annual precipitation, in agreement with results presented in the literature.

**Palavras-Chave:** recarga de águas subterrâneas, método da variação do nível freático.

## 1. INTRODUÇÃO

1) Graduando em Engenharia Ambiental e bolsista de Iniciação Científica, PIBIC, UFAL. E-mail: jonathantenorio88@gmail.com

2) Graduando em Engenharia Ambiental e bolsista de Iniciação Científica, PIBIC, UFAL. E-mail: mbchaves@yahoo.com.br

3) Professora Adjunta do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFAL. E-mail: rosanemaia@uol.com.br

4) Professor Adjunto do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFAL. E-mail: manoelmaia@uol.com.br

A recarga é um elemento fundamental aos estudos hidrogeológicos. Em contraste com os demais elementos do balanço hídrico, é consideravelmente complexa de ser obtida e geralmente envolve o emprego de métodos variados em sua determinação. A estimativa desse parâmetro não depende exclusivamente dos dados de precipitação, mas também das condições meteorológicas, assim como do tipo de solo, umidade, cobertura vegetal, inclinação do terreno, culturas vegetais e, sobretudo da evapotranspiração que é função dos elementos anteriores (Szilagyi, 2003).

A recarga pode ser considerada natural quando oriunda de um fenômeno comum na natureza como o aporte de águas meteóricas, fluxo subterrâneo entre rio ou lagoa e aquífero ou ainda entre sistemas de aquíferos. No entanto, nas grandes cidades, onde vastas áreas encontram-se impermeabilizadas, ocorre o fenômeno da recarga artificial, ocasionado por águas de infiltração, vazamentos em galerias pluviais, redes coletoras de esgoto e áreas irrigadas.

Sabe-se que a recarga é virtualmente impossível de ser mensurada com precisão devido a grande variabilidade do fenômeno de infiltração no solo. Portanto, este parâmetro é geralmente estimado por métodos indiretos (Heppner, 2007; Nobre et al., 2007). Diferentes zonas promovem uma estimativa de recarga sob escalas temporais e espaciais variáveis. Em cada uma dessas camadas, as técnicas de estimativa de recarga podem ser generalizadas em físicas, numéricas ou por meio de traçadores químicos radioativos (Scanlon, 2002). Em geral, os métodos analíticos empregados são empíricos e sua confiabilidade depende da natureza dos dados. As técnicas analíticas mais empregadas são os métodos da variação do nível freático, o método do balanço hídrico e o método de separação de hidrogramas. Este último assume que, em bacias hidrográficas, a recarga é equivalente ao escoamento base observado no hidrograma do rio considerando a inexistência de poços de extração na área da bacia (Coes, 2007). Para a execução do método do balanço hídrico é preciso conhecer as contribuições de entrada e saída de uma bacia hidrográfica e o valor de cada termo para se determinar a recarga (Wahnfried, 2005).

Healy & Cook (2002) acreditam que a recarga é uma componente chave em qualquer modelo de fluxo subterrâneo ou transporte de contaminantes. A taxa de recarga determina não somente a quantidade de água que pode ser explorada do aquífero, mas também a qualidade da água porque os contaminantes são geralmente carreados da superfície do solo até a zona vadoza enriquecendo o aquífero (Zhang, 2004). Usualmente a recarga é usada como entrada de modelos hidrogeológicos, sendo fundamental para a gestão de mananciais subterrâneos. Uma boa gestão das águas subterrâneas deve ser feita numa escala que usa fronteiras hidrológicas naturais, em preferência às escalas política ou geológica (Lee, 2006, Nobre et al., 2008).

Um importante fator que deve ser observado é a variabilidade espacial e temporal da recarga, de grande importância para subsidiar trabalhos sobre o tema (Sykes et al., 2002). Essa variabilidade se dá pelas condições climáticas, relevo, geomorfologia e geologia. A variabilidade

espacial da recarga na escala local pode não ser crítica para a avaliação dos recursos hídricos, mas é crítica para o transporte de contaminantes, tendo em vista que a recarga pontual e fluxos preferenciais permitem a rápida migração de contaminantes através da zona não-saturada subjacente aos aquíferos (Scanlon et al., 2002).

A exploração descontrolada dos recursos hídricos subterrâneos pode gerar conseqüências negativas para estes mananciais bem como ocorrer escassez de água ou mesmo contaminação do lençol freático. Rocha (2006) cita, como conseqüência, o rebaixamento acentuado na superfície potenciométrica, exaustão dos aquíferos e salinização graças ao avanço da cunha salina.

Atualmente, ferramentas como o sensoriamento remoto e o sistema de informação geográfica (SIG) têm sido empregados conjuntamente aos métodos de cálculo de recarga, ambos capazes de subsidiar ações territoriais. O sensoriamento remoto é uma técnica usada para obter informações sobre objetos através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados (Meneses, 2001). Na estimativa da recarga, o sensoriamento remoto pode ser utilizado em largas escalas através, por exemplo, de medidas indiretas de umidade do solo ou também em modelos de balanço hídrico. A classificação de imagens de satélite pode ser realizada através de técnicas específicas de classificação supervisionada e não-supervisionada (Richards, 1986) permitindo a elaboração do mapa de cobertura e uso do solo e identificação de áreas que facilitarão a análise quantitativa e qualitativa de recarga dentre as diferentes coberturas do solo.

O presente estudo teve por objetivo estimar a taxa de recarga em dois pontos específicos na área do município de Maceió, através do método da variação do nível potenciométrico, aplicada a uma série histórica de dados registrados em poços de monitoramento. O suprimento de águas na cidade tem hoje cerca 65% com origem nos recursos hídricos subterrâneos com inúmeros poços profundos. Esse percentual ultrapassou a marca de 80% alguns anos atrás, anteriormente ao início de operação do sistema de águas de superfície do riacho Pratagy, com muitos poços salinizados que deixaram de operar. A região apresenta clima quente e úmido com um uniforme regime de chuvas que, no geral, caracterizam duas estações. A estação chuvosa se estende de março a agosto quando é registrado cerca de 75% da precipitação total anual, que corresponde, em média, a 1876 mm (Souza et al, 1998). É notável a crescente taxa de urbanização da cidade, principalmente durante o período dos dados coletados e sob esse efeito o aumento da impermeabilização das zonas de recarga de águas subterrâneas pode dificultar a infiltração em determinadas épocas do ano.

## **2. METODOLOGIA**

A metodologia deste trabalho é fundamentada nos métodos analíticos utilizados para o cálculo de recarga, principalmente o método da variação do nível estático descrito detalhadamente

no trabalho de Healy & Cook (2002). Um dos primeiros pesquisadores a utilizar o método foi Meinzer (1923) em seu trabalho pioneiro sobre a ocorrência de águas subterrâneas nos Estados Unidos. Este método é a técnica mais amplamente usada para estimativa de recarga. O método só é aplicável aos aquíferos não-confinados e quando a vazão específica do solo é conhecida.

Os métodos analíticos apesar de apresentarem algumas características empíricas e idealizações, quando manipulados corretamente podem produzir resultados confiáveis e satisfatórios. O método da variação do nível estático é baseado na premissa de que as elevações nos níveis freáticos são devidas à infiltração de água de recarga (Healy & Cook, 2002). Esse método pode ser expresso pela equação abaixo:

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

Nesta equação  $R$  é recarga (mm)  $S_y$  é a vazão específica (adimensional),  $dh$  é a variação no nível estático entre duas medições (mm) e  $dt$  é o intervalo de tempo (s). Usualmente é considerado regime permanente na aplicação da equação 1. Na figura 1 é possível visualizar o significado do termo  $\Delta h$  da equação enquanto na figura 2 é mostrado um exemplo do método de cálculo empregado para avaliar a variação da cota do nível estático.

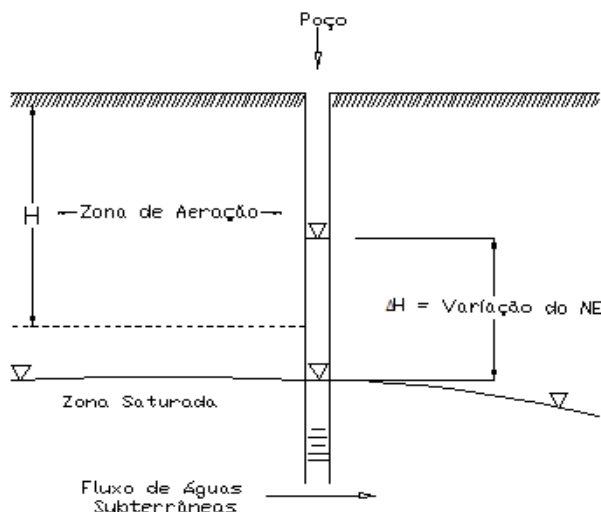


Figura 1 – Esquema de um poço piezométrico hipotético.

A recarga (figura 2) é calculada pela diferença da elevação na cota de NE num dado tempo  $t$  e a extrapolação da curva do rebaixamento referente a um tempo  $t$  anterior (Wahnfried, 2005).

## Método da Variação do NE (2006 - PO-01)

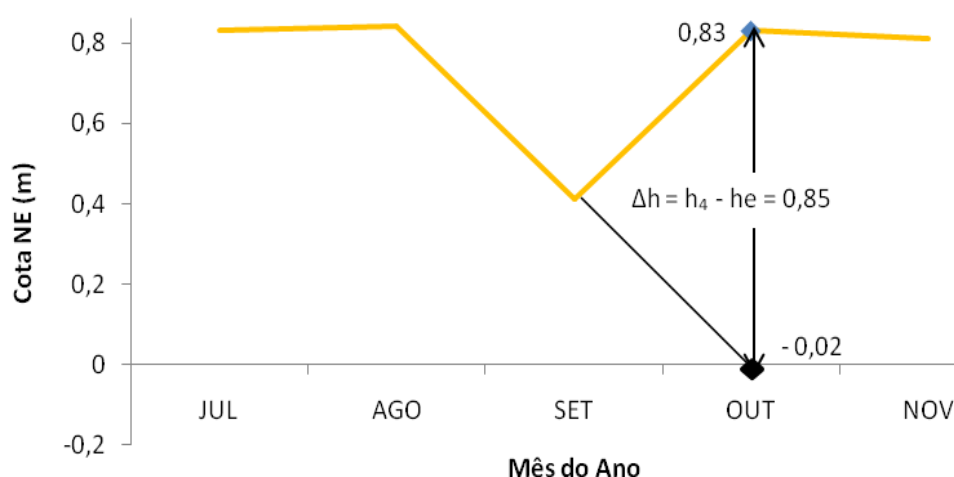


Figura 2 – Gráfico do método de cálculo do  $\Delta h$ .

Para o uso do sensoriamento remoto foi utilizada uma Imagem do satélite CBERS 2 – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres para a elaboração de um mapa de uso e cobertura do solo através da classificação supervisionada de imagens (Chaves et al., 2008). O mapa permite ter uma visão territorial dos fenômenos que ocorrem inclusive relativos ao fluxo subterrâneo, como as zonas de influência nos valores de recarga. A série histórica de dados trabalhados contém informações coletadas nos anos de 1994 e de 2002 a 2007 em três poços diferentes.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

O município de Maceió-AL, localizada no litoral nordestino com uma área de 511 Km<sup>2</sup> e uma população próxima aos 900.000 habitantes. O comércio e o turismo correspondem as atividades econômicas predominantes. Este último devido as exuberantes belezas naturais da região. O clima úmido e tropical é favorável ao desenvolvimento do turismo durante quase todo o ano. A estação chuvosa estende-se de maio a agosto.

O estudo foi direcionado a restinga lagunar situada à margem do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM). A geologia da restinga lagunar, na área de estudo, é caracterizada pela presença de areias finas e médias (quaternário) com presença de matéria orgânica em alguns pontos. Seus sedimentos finos pertencem à formação Barreiras, comum a quase todo litoral nordestino. A topografia local apresenta um nível de terreno muito próximo ao nível do mar e, por isso, os valores de carga hidráulica (cotas de NE) obtidos apresentam-se com reduzidos gradientes hidráulicos horizontais. Devido a elevada permeabilidade das areias quaternárias e

reduzidos valores de níveis estáticos (NE), os poços piezométricos sofrem grande influência do regime pluviométrico, sendo nítidas as alterações de NE ao longo de uma série histórica de dados.

O sistema de aquíferos da cidade de Maceió, com níveis freáticos variando de 1 a 50 m, é predominantemente recarregado pelo regime pluviométrico regional e por recargas artificiais. Essas águas subterrâneas, por sua vez, alimentam diversos riachos na região com vertentes para o Atlântico e a lagoa Mundaú na fronteira oeste (Nobre et al., 2007; Nobre et al., 2008).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os poços utilizados para coleta de dados foram batizados de PO-01, PO-02 e PO-03. Estão localizados próximos, numa distância máxima de 47 m. Ambos os perfis dos poços demonstraram características geológicas semelhantes com o nível freático situado entre 1 e 3 m abaixo do nível do terreno. O solo arenoso, de granulometria média preponderante permite um maior fluxo e assim foram verificadas algumas variações nos níveis estáticos dos poços ao longo da série histórica. A figura 3 apresenta a variação do NE no poço PO-01 durante o ano de 1994. Junto a estes dados, em barras, aparecem os dados de chuva.

O fluxo subterrâneo é muito lento e assim, a precipitação ocorrida num dia pode passar a contribuir com o fluxo subterrâneo semanas, meses e até anos após o evento. Na figura 3, é possível verificar a variação potenciométrica no aquífero e também o regime de precipitação observado para um mesmo período.

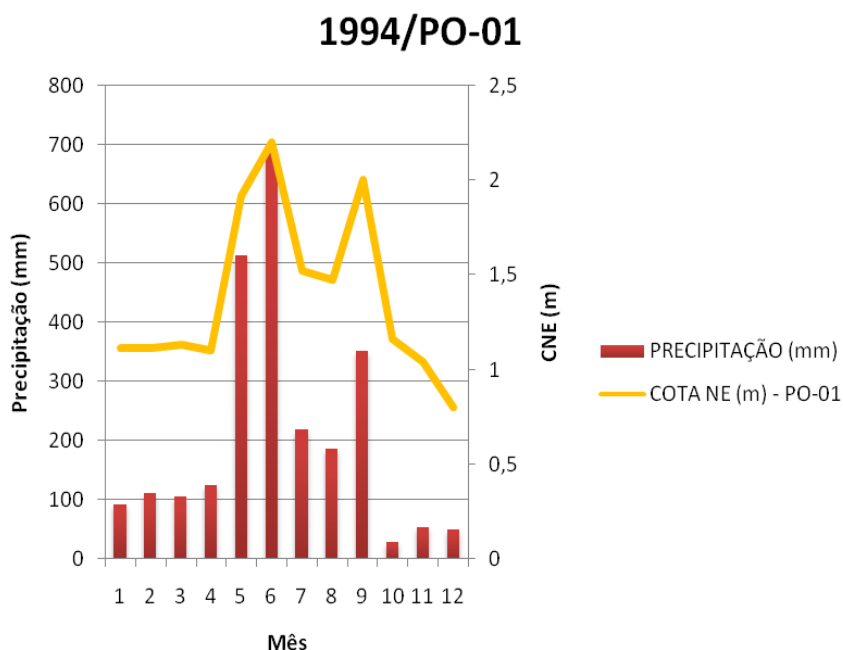


Figura 3 – Variação do nível estático no poço PO-01 para o ano de 1994.

Para avaliação da cobertura e uso do solo, foi utilizada uma imagem do sensor CBERS 2, que passou por um tratamento digital no software ENVI 4.2, com o devido georreferenciamento e posterior classificação (figura 4). A classificação aplicada foi a do tipo supervisionada utilizando o algoritmo da máxima verossimilhança e abordou somente as áreas de cana-de-açúcar, área urbana, vegetação secundária, água e solo nú. Para a avaliação de recarga estes elementos são fundamentais dentro da área de estudo. Cada tipo de solo e também a ocupação desenvolvida neste definirá as condições e características da recarga. Áreas irrigadas são típicas de recarga artificial induzida e podem, em alguns casos, superar os valores de recarga natural, sobretudo, em regiões secas. A presença de vegetação interfere no potencial de recarga. Gee *et.al.* (1994) apud Scanlon (2002) afirma que a recarga é muito superior em áreas sem vegetação do que em regiões vegetadas. A vegetação secundária se desenvolveu no espaço de uma vegetação primária e deve ser observada, principalmente, em estudos específicos de recarga quanto ao tipo de vegetação. Lerner (2002) cita em seu trabalho como foi verificado que a quantidade de recarga em áreas urbanas supera a recarga em ambientes naturais.

Acreditava-se que a impermeabilização fosse responsável por reduzir o volume de água a enriquecer os aquíferos. No entanto, foi observado que o ambiente urbano, munido de seus sistemas pluvial e de esgoto, aumenta a contribuição aos mananciais subterrâneos (Lerner, 2002; Nobre et al, 2007). Tendo em vista que a restinga lagunar é predominantemente ocupada por área urbana e que as perdas de água por vazamentos nas canalizações são da ordem de 50-60% na cidade de Maceió, a recarga artificial é significativa e certamente contribuiu para os elevados valores calculados. Os dados de recarga obtidos nesta pesquisa correspondem a recarga total, ou seja, a soma entre a componente natural e a componente artificial.

Para o cálculo de recarga foi definida a vazão específica de acordo com o tipo de solo presente nos poços (Tabela 1) tomando como base o trabalho de Healy e Cook (2002) e, como há predominância de areia média naquele terreno, ficou definido o valor de 0,26 para a vazão específica. Este valor foi assumido para os três poços localizados na área da restinga lagunar, devido à proximidade dos mesmos e também a semelhança geológica.

Os dados de cota de NE obtidos são representativos da região da restinga lagunar de acordo com a distribuição dos poços piezométricos. O nível medido em um poço é representativo para uma área de influência pelo menos algumas dezenas de metros quadrados a sua volta, tendo em vista tratar-se de solos arenosos (Healy & Cook, 2002; apud Wahnfried, 2005).

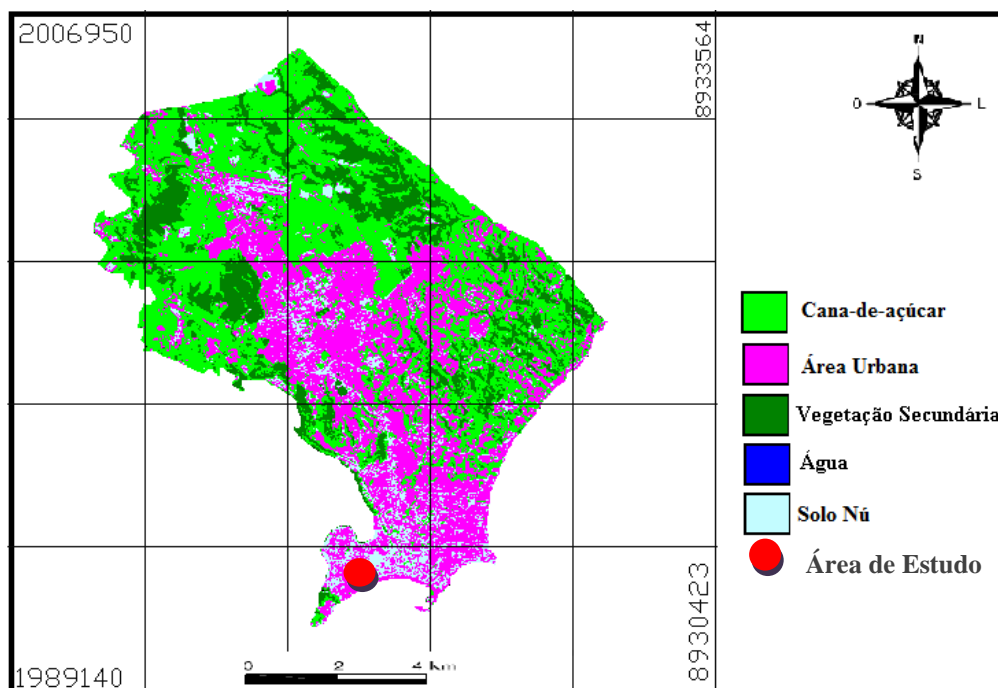


Figura 4 – Classificação da imagem CBERS quanto ao uso e ocupação do solo na cidade de Maceió (Chaves et al., 2008).

Tabela 1 – Rendimento de materiais comuns, adaptado de Healy e Cook (2002)

<i>Composição</i>	<i>Vazão específica média</i>	<i>Coefficiente de variação (%)</i>	<i>Rendimento específico mínimo</i>	<i>Rendimento específico máximo</i>	<i>Número de determinações</i>
Argila	0.02	59	0	0.05	15
Siltes	0.08	60	0.03	0.19	16
Argilas arenosas	0.07	44	0.03	0.12	12
Areias finas	0.21	32	0.10	0.28	17
Areias médias	0.26	18	0.15	0.32	17
Areias grossas	0.27	18	0.20	0.35	17
Cascalhos finos	0.25	18	0.21	0.35	17
Cascalhos médios	0.23	14	0.13	0.26	14
Cascalhos grossos	0.22	20	0.12	0.26	13

A série de registros de níveis estáticos nos poços tubulares apresenta inúmeras falhas entre os anos de 1994 e 2002, quando não houve monitoramento. A recarga foi estimada, portanto, com base nesta intermitência. A figura 5 apresenta uma evolução histórica dos valores de recarga para este período. A recarga apresentou acentuada variação temporal, apresentando um máximo no ano de 2003 ao representar 39% da precipitação total e um mínimo de 6% no ano de 2006. Santos (2008), por exemplo, encontrou valores de recarga entre 0 e 44% para a bacia do Córrego do Capão Comprido no Distrito Federal. Uma região de clima úmido a sub-úmido e com precipitação pluviométrica média de 1405 mm.



As áreas estudadas por Coes (2007) apresentam topografia bastante semelhante a região da restinga lagunar em Maceió. Neste trabalho foi identificada uma elevada recarga, geralmente superior a 50% da precipitação. O autor identificou duas possíveis causas para as altas taxas de recarga: a proximidade do lençol freático em relação à superfície do terreno e também reduzidas declividades na região. Ambas as características são comuns à restinga lagunar.

Os dados apresentados na figura 5 referem-se à média da recarga calculada para os três poços monitorados. Os valores individuais de recarga (tabela 2) apresentaram uma variabilidade muito grande, no entanto, esse parâmetro não pôde ser obtido para todos os meses e assim uma análise mais completa fica prejudicada.

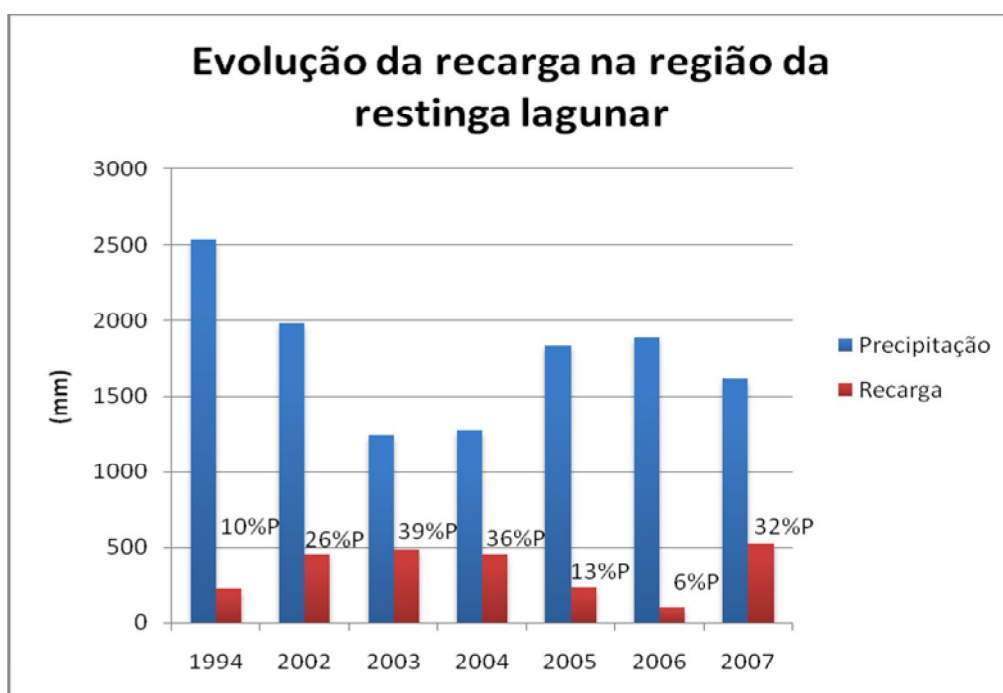


Figura 5 – Evolução da recarga na região da restinga lagunar.

Tabela 2 – Resultados de recarga, recarga média e percentagem da precipitação.

Poços	Período							Recarga (mm)
	1994	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
PO-01	112,3	720,2	694,2	455	236,6	107,4	523,1	
PO-02	436,8	397,8	283,4	455				
PO-03	178,5	420						
Recarga Média (mm)	242,6	512,7	488,8	455	236,6	107,4	523,1	
Precipitação (mm)	2532,1	1980	1247	1271,4	1836,4	1889	1612,5	
Recarga /Precipitação	10%	26%	39%	36%	13%	6%	32%	

## 5. CONCLUSÃO

O método da variação do nível estático é aplicável a aquíferos não-confinados e rasos, como pode ser verificado na área da restinga lagunar. A recarga calculada variou entre 236 mm/ano e 523 mm/ano (cerca de 6 a 39% da precipitação total anual média). Dadas às características físicas, climáticas e hidrogeológicas da região, o método apresentou resultados satisfatórios, correspondendo aos valores encontrados na literatura. Apesar disso, é importante destacar que a recarga apresenta intensa variabilidade espacial e temporal e, portanto, deve ser avaliada continuamente. A aplicação de outros métodos enriquece os estudos na área e torna-os mais representativos. O método da variação do nível potenciométrico exige atenção em sua aplicação. Hipóteses simplificadoras assumem que a elevação nos níveis do lençol freático é devida à recarga, no entanto, alguns fenômenos naturais podem interferir no nível da água, como a umidade do solo ou fenômenos antrópicos.

A estimativa de recarga para a região costeira de Maceió surge como subsídio na questão do gerenciamento dos recursos hídricos de uma região metropolitana com elevada demanda por águas subterrâneas. O planejamento das cidades está intimamente associado ao uso da água, tanto por sua qualidade como por sua quantidade. O uso racional dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos deve obedecer à capacidade dos mananciais de suprir a população de forma sustentável e o estudo da recarga é um elemento chave nesta questão.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- COES, A. L.; SPRUILL, T. B.; THOMASSON, M. J. (2007). “*Multiple-method estimation of recharge rates at diverse locations in the North Carolina Coastal Plain*”, USA. Hydrogeology Journal, Vol. 15, pp. 773-788.
- CHAVES, M. B.; SANTOS, J. C. ; LIMA, J. T. ; MOREIRA FILHO, J. C. C. ; NOBRE, R. C. M. ; NOBRE, M. M. M. (2009). “*Classificação de imagem CBERS para mapeamento de áreas de recarga de mananciais subterrâneos*”. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. Anais do XIV
- HEALY R.W.; COOK P.G.; (2002) “*Using ground-water levels to estimate recharge*”. Hydrogeology Journal. Springer-Verlag, January, 2002. Vol. 10, pp. 91-109.
- HEPPNER, C.S. et al. (2007). “*Multiple-methods investigation of recharge at a humid-region fractured rock site, Pennsylvania*”, USA. Hydrogeology Journal, Spronger-Verlag. January, Vol. 15, p.p. 915-927.

- JYRKAMA, M.I.; SYKES, J.F.; NORMANI, S.D., (2002). “*Recharge estimation for transient groundwater modeling*”, Ground Water, v. 40, n.6, pp. 638-648.
- LEE, C H., CHEN, W P., LEE, R H. (2006): “*Estimation of groundwater recharge using water balance coupled with base-flow-record estimation and stable-base-flow analysis*”. Environmental Geology. Vol. 51, p.p. 73-82.
- LERNER, D. N. (2002). “*Identifying and quantifying urban recharge: a review*”. Hydrogeology Journal, 2002. Vol. 10., pp. 143-152.
- MEINZER O.E.; (1923). “*The occurrence of groundwater in the United States with a discussion of principles*”. US Geol Surv Water Supplly Pap 489, 321 pp.
- MENESES, P. R.(2001). “*Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral*”. In: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. 2001.
- NOBRE, R C M.; ROTUNNO FILHO, O. C. ; Mansur, W.J. ; NOBRE, M. M. M. ; COSENZA, C. A. N. (2007). “*Groundwater vulnerability and risk mapping using GIS, modeling and fuzzy logic tool*”. Journal of Contaminant Hydrology. Vol. 94, pp. 277-292.
- NOBRE, R.C.M., NOBRE, M.M.M., ROTUNNO FILHO, O.C., MANSUR, W.J. (2008) Metodologia para o mapeamento do índice de perigo ao consumo de águas subterrâneas vulneráveis à contaminação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. , 13:101 - 112.
- ROCHA, W.J.S.; CAMPOS, J. E. G.; CAVALCANTE, A. T. (2005). “*Estudo da Evolução Potenciométrica dos Aquíferos da Região de Maceió – AL*”. Revista Geociência, Vol. 24, nº 2, p. 193-201.
- SANTOS, R. M.; KOIDE, S.; EID, N. J.; ATAÍDE, W. F.; PUFAL, M. I. (2008). “*Modelagem Inversa Aplicada a Simulação do Volume e da Distribuição Espacial da Recarga de Águas Subterrâneas em uma Bacia Hidrográfica do Serrado*”. II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul Suldeste.
- SCANLON, B.R.; REALY, R. W.; COOK, P. G. (2002). “*Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge*”. Hydrogeology Journal, Vol. 10, p.p. 18-39.
- SOUZA, J.L.; ANJOS, F.A.; FILHO, G.M. & MEIRA, P.R. (1998). “*Característica pluviométrica representativa do tabuleiro costeiro de Alagoas – Período 1972 – 1996*”. X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, DF.
- SZILAGYI, J.; HARVEY, F. E. and AYRES, J. F. (2003). “*Regional Estimation of Base Recharge to Ground Water Using Water Balance and a base-Flow Index*”. GROUND WATER, Vol. 41, No. 4, pp. 504-513.
- VRIES, J. J. & SIMMERS, I. (2002).; “*Groundwater recharge: an overview of processes and challenges*”. Hydrogeology Journal, vol. 10, pp. 5-17.

- WAHNFRIED, I. & HIRATA, R. (2005). “*Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em Uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo)*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 10, n° 2, pp. 15-25.
- ZHANG, Y. K., & K. SCHILLING (2004), “*Temporal scaling of hydraulic head and rivers base flow and its implication for groundwater recharge*”. Water Resources Research., 40, W03504, doi:10.1029/2003WR002094.