



ESTUDOS SOBRE A DISPONIBILIDADE E VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (BRASIL)

Manuel M. OLIVEIRA¹; Teresa E. LEITÃO¹; Tiago MARTINS¹; Waldir DUARTE COSTA²;
Mateus ALBUQUERQUE³; J.P. LOBO FERREIRA¹

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Portugal, moliveira@lnec.pt, leitao@lnec.pt, tmartins@lnec.pt,
lferreira@lnec.pt

² Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. (COSTA), Brasil, wdcosta@ibest.com.br

³ Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), Brasil, mateus.souza@apac.pe.gov.br

Resumo

Apresenta-se uma síntese dos "Estudos sobre a Disponibilidade e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Metropolitana do Recife" realizados pelo consórcio LNEC/COSTA para a Agência Pernambucana de Águas e Clima e Secretaria de Desenvolvimento Económico através do acordo de empréstimo BIRD n.º 7778 entre o Estado de Pernambuco e o Banco Mundial, no âmbito do Projeto de Sustentabilidade Hídrica do Estado de Pernambuco. A necessidade de realização deste estudo decorreu dos indícios de rebaixamentos dos níveis piezométricos na Região Metropolitana do Recife (RMR) acompanhado da existência de áreas com problemas de qualidade das águas, sugerindo que a sustentabilidade do recurso poderia estar comprometida.

É feita uma descrição dos aspetos fisiográficos e apresentada a conceptualização hidrogeológica da RMR, descrevendo-se os aspetos quantitativos e qualitativos dos principais aquíferos da região. O estudo centra-se fundamentalmente na modelação numérica do escoamento subterrâneo da RMR, tendo os modelos, após calibração, sido utilizados para verificar os impactes de cenários futuros de exploração dos sistemas aquíferos na disponibilidade hídrica subterrânea. Estes resultados, complementados com a aplicação de outras metodologias para avaliação do risco e proteção dos sistemas aquíferos, como a delimitação de perímetros de proteção de captações, a caracterização da facilidade da infiltração e da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, permitem o estabelecimento de ferramentas de gestão dos sistemas aquíferos da RMR, culminando o estudo com um conjunto de contributos para a definição de um novo mapa de explorabilidade dos aquíferos da RMR.

Palavras-chave: Recursos hídricos subterrâneos; quantidade e qualidade; vulnerabilidade; modelo numérico de escoamento; instrumentos de gestão sustentável.

Tema: Gestão de recursos hídricos em bacias nacionais e transfronteiriças.

1. INTRODUÇÃO

O Governo do Estado de Pernambuco, através da Secretaria de Desenvolvimento Económico (SDEC) e da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC), recebeu financiamento do Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD) para fazer face aos custos do Projeto de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco, tendo aplicado uma parte desses recursos num serviço de consultoria intitulado "Estudos sobre a Disponibilidade e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Metropolitana do Recife", cujo concurso internacional foi ganho pelo consórcio LNEC/COSTA.

A necessidade de realização deste estudo decorreu dos indícios de rebaixamentos dos níveis piezométricos na Região Metropolitana do Recife (RMR) acompanhado da existência de áreas com problemas de qualidade das águas, sugerindo que a sustentabilidade do recurso poderia estar comprometida. Nesse contexto, o estudo teve como objetivo conhecer mais profundamente os sistemas aquíferos da RMR e avaliar as suas disponibilidades, vulnerabilidade e qualidade das águas subterrâneas, de forma a criar instrumentos de gestão integrada e sustentável para apoio à utilização deste recurso e compreender os efeitos resultantes das medidas de gestão que têm vindo a ser aplicadas ao longo dos últimos anos. Para esse efeito, e para poder prever a evolução futura tanto das reservas hídricas subterrâneas como da progressão da poluição e/ou intrusão marinha, foi elaborado um modelo numérico do escoamento, que constituiu o principal objetivo do estudo, sobre o qual assentam as principais conclusões do estudo e municiando a APAC de uma ferramenta indispensável para a gestão dos recursos hídricos.

O projeto é composto das seguintes dez atividades: 1. Análise das informações disponíveis no acervo de dados da APAC/SDE e CPRH; 2. Complemento aos dados obtidos pelos estudos anteriores HIDROREC I e II; 3. Levantamentos hidroquímico e isotópico em poços disponíveis e selecionados; 4. Estruturação do banco de dados hidrogeológico tipo SIAGAS; 5. Levantamento de dados diversos - preparação do modelo numérico; 6. Elaboração do modelo hidrogeológico conceptual e modelo numérico; 7. Ajuste, calibração e validação do modelo; 8. Operação do modelo numérico; 9. Síntese dos resultados da modelação numérica e 10. Elaboração do Relatório Final (Leitão et al., 2017), no qual se baseia esta apresentação.

A Região Metropolitana do Recife (RMR) localiza-se na faixa costeira do Estado de Pernambuco, desenvolvendo-se numa faixa com cerca de 104 km de comprimento e 38 km de largura máxima (Figura 1), situando-se entre os paralelos 7°40'56" e 8°38'00" latitude sul e os meridianos 34°49'00" e 35°15'52 longitude oeste de Greenwich, e entre os paralelos 9.047.000 m e 9.150.260 m e os meridianos 250.300 m e 299.500 m do sistema de georreferenciamento SIRGAS 2000, projeção UTM Zona 25 S. Está limitada com o município de Sirinhaém a sul; com o oceano Atlântico a leste; e com os municípios de Tracunhaém, Paudalho, Chã de Alegria, Vitória de Santo Antão e Escada a oeste, e com o município de Itaquitinga e Goiana a norte.

Os 14 (catorze) municípios que constituem a RMR são (Figura 1): Araçoiaba, Itapissuma, Itamaracá, Abreu e Lima, Igarassu, Paulista, Olinda, Recife, Jaboatão dos Guararapes, Moreno, Camaragibe, São Lourenço da Mata, Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca. A sua

população segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística de 2011 é de 3.350.654 habitantes, o que equivale a 40% do total da população do estado de Pernambuco. A sua área perfaz um total de 2.761,45 km².

A caracterização global da região efetuada inclui a climatologia, hidrologia, geologia regional e estrutural, geomorfologia, pedologia, e o uso e ocupação do solo.

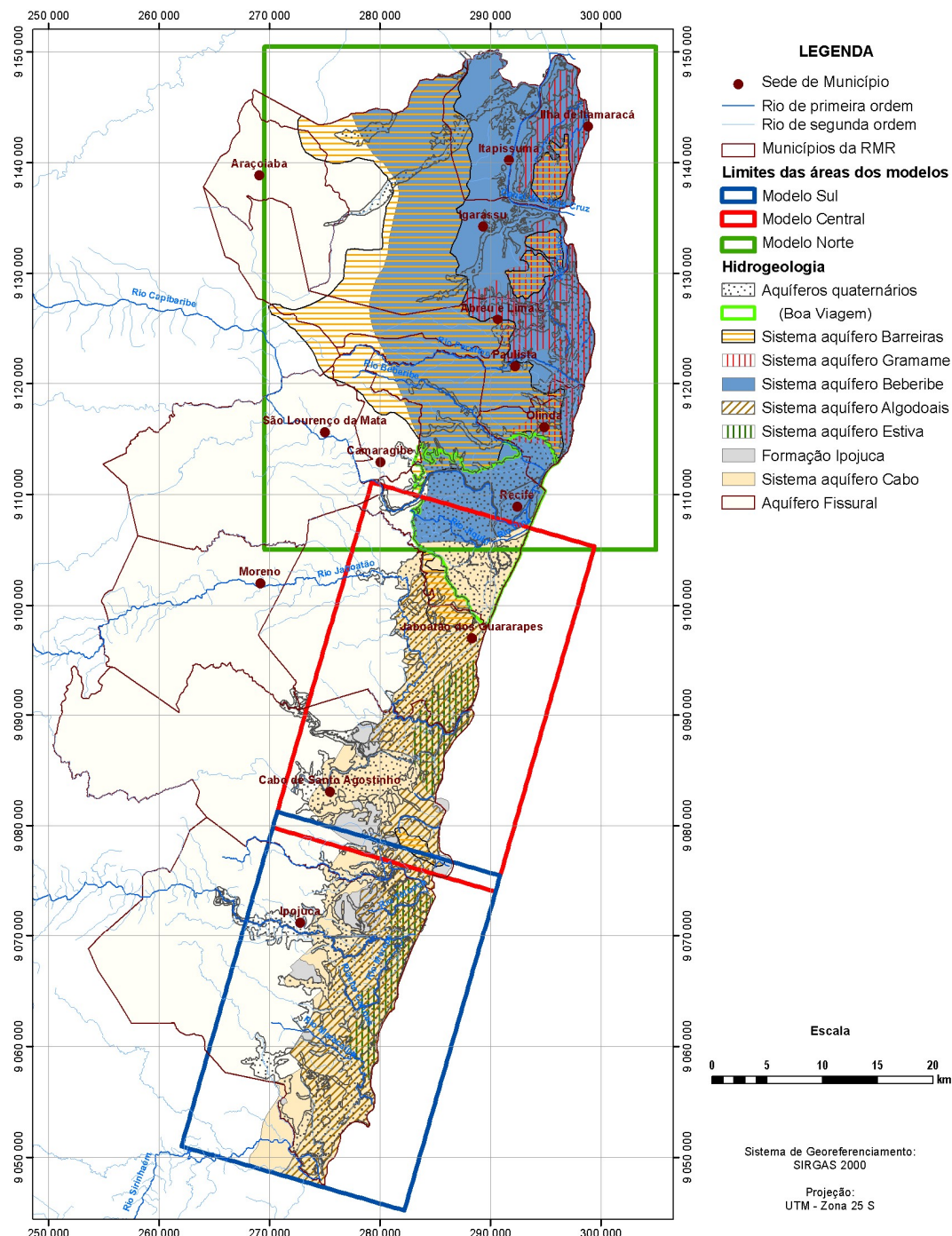


Figura 1. Localização da Região Metropolitana do Recife, municípios, principais sistemas aquíferos e áreas dos modelos numéricos de escoamento

2. FORMAÇÕES HIDROGEOLÓGICAS

A RMR é geologicamente formada por rochas do embasamento cristalino e pelos sedimentos meso-cenozóicos das bacias sedimentares costeiras Paraíba e Pernambuco, a primeira localizada a norte do lineamento Pernambuco, e a segunda localizada a sul. Os aquíferos explorados para abastecimento da RMR desenvolvem-se em cada uma destas duas bacias, refletindo as características hidráulicas dos respetivos sedimentos.

A **Bacia Paraíba** é constituída, da base para a superfície, pelas formações Beberibe, Gramame e Maria Farinha. Recobrimo discordantemente os sedimentos da Bacia Paraíba ocorrem os sedimentos Plio-Pleistocênicos do Grupo Barreiras e os depósitos de origens diversas das Coberturas Quaternárias. A Formação Beberibe, o Grupo Barreiras e as Coberturas Quaternárias, compostas por sedimentos arenosos e areno-argilosos constituem aquíferos intersticiais, como é o caso do Aquífero Beberibe. As formações Gramame e Maria Farinha são compostas por litótipos calcários, constituindo um sistema aquífero cársico-fissural com águas de fraca qualidade devido à sua excessiva dureza, que as tornam imprestáveis para consumo humano e outros usos, pelo que poucos são os poços que captam águas destas formações.

A **Bacia Pernambuco** é constituída pelas formações Cabo, Estiva, Algoduais e pelas rochas da Formação Vulcânica de Ipojuca, parcialmente cobertas pelos sedimentos do Grupo Barreiras (numa área restrita no norte da bacia) e pelas Coberturas Quaternárias, que ocupam áreas mais extensas. A Formação Cabo, Algoduais, o Grupo Barreiras e as Coberturas Quaternárias, dada a sua natureza arenosa e areno-argilosa, dão origem a aquíferos intersticiais. As formações Estiva, de natureza calcária-silto-argilosa, e Ipojuca, constituída de vulcanitos, são caracterizadas por produtividades muito baixas ou nulas pelo que o seu interesse como aquífero explorável é irrelevante.

O **Embasamento Cristalino**, constituído por ortognaisses, migmatitos e granitos, dá origem a um aquífero fissural, cujo comportamento é influenciado pelas zonas onde se desenvolvem mantos de alteração mais permeáveis.

A Figura 1 e o Quadro 1 sintetizam as formações geológicas existentes. O Quadro 1 mostra também a correspondência entre as formações geológicas e as entidades hidrogeológicas que delas derivam, agrupando formações em sistemas aquíferos ou subdividindo-as em estratos com expressão regional que podem condicionar o escoamento vertical entre aquíferos. Estas entidades hidrogeológicas são as consideradas no modelo numérico.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS ASPETOS QUANTITATIVOS

Apresenta-se um resumo dos aspetos quantitativos dos sistemas aquíferos. A caracterização da piezometria foi feita considerando um universo de 6.256 medições, de onde foi retirada uma seleção das séries de anos com maior número de dados, que corresponderam aos seguintes anos: 1998 a 2000, 2007 a 2009 e 2013 a 2015. Foram construídos mapas piezométricos para os diversos aquíferos para os primeiros dois períodos referidos, tendo todos os períodos (especialmente o último) sido utilizados para calibrar os modelos numéricos.

Obtiveram-se 354 valores de coeficiente de transmissividade (T) e condutividade hidráulica (K), cujos valores médios (T em m^2/s , K em m/s) para os principais sistemas aquíferos foram

os seguintes: Beberibe (221 poços) – $T = 1,58 \times 10^{-3}$ e $K = 2,31 \times 10^{-5}$; Cabo (81 poços) – $T = 3,52 \times 10^{-4}$ e $K = 4,64 \times 10^{-6}$; Barreiras (26 poços) – $T = 2,47 \times 10^{-3}$ e $K = 4,36 \times 10^{-5}$; Boa Viagem (26 poços) – $T = 6,54 \times 10^{-3}$ e $K = 1,42 \times 10^{-4}$. A partir desses dados foram elaborados os mapas específicos de transmissividade e condutividade hidráulica por aquífero, tendo-se utilizado valores médios para o início da calibração do modelo numérico.

Quadro 1. Síntese da geologia e estratigrafia da RMR tendo em vista a definição das entidades hidrogeológicas a considerar na modelação numérica

Era	Período	Época	Idade	Sul do LP – Bacia Pernambuco	Norte do LP – Bacia Paraíba	Hidrogeologia
Ceno-zoico	Quaternário	Holocénico		Sedimentos aluvionares, Recifes de arenito, Sedimentos de praia, Sedimentos de mangue, Sedimentos fluvio-lagunares, Terraços marinhos holocénicos		Quaternário (inclui aquífero Boa Viagem)
		Pleistocénico		Terraços marinhos pleistocénicos		[camadas argilosas da base]
	Neogénico					
	Paleogénico			Grupo Barreiras		Barreiras
Meso-zoico	Cretácico	Superior	Maastrichtiano		Fm. Maria Farinha	Gramame + Maria Farinha
			Campaniano		Fm. Gramame	[horiz. fosfatado] Itamaracá
			Santoniano		Fm. Itamaracá	Beberibe
			Coniaciano	Fm. Algodóais		Algodóais
			Turoniano	Fm. Estiva		Estiva
			Cenomaniano	Fm. Estiva		
	Inferior	Albiano	Suíte Ipojuca		Ipojuca	
		Aptiano	Fm. Cabo		Cabo	
Prote-rozoico			Embasamento Cristalino		Embasamento	

LP = Lineamento Pernambuco

O balanço hídrico executado com o modelo BALSEQ (Lobo Ferreira, 1981) para o período de 20 anos, entre 1994 e 2013, deu os seguintes resultados: precipitação total = 1.775 mm/ano; escoamento direto = 257 mm/ano; evapotranspiração = 1.056 mm/ano e infiltração = 461 mm/ano. A recarga anual aos aquíferos corresponde, portanto, a 26% da precipitação, sendo que 87,8% se concentra no período de maio a agosto.

De um total de 10.733 poços no banco de dados, 32,1% possuem dados de extração, sendo 2.925 extrações outorgadas e 524 extrações requeridas. Os dados pertencem principalmente aos sistemas aquíferos Beberibe e Cabo. Para a modelação numérica houve necessidade de fazer a estimativa das extrações para os 7.284 poços restantes do banco de dados com base no conhecimento existente na APAC e no Consórcio sobre o regime de operação e a extração dos poços em função do aquífero e do município. No total foi estimada na RMR uma extração de 926.950 m³/d, distribuindo-se maioritariamente pelo sistema aquífero Beberibe, com 641.924 m³/d, seguindo-se o sistema aquífero Cabo com 151.588 m³/d, o sistema aquífero Boa Viagem com 108.493 m³/d e o sistema aquífero Barreiras com 19.424 m³/d.

Para a modelação numérica foi também necessário caracterizar o período de funcionamento dos poços, havendo 3.952 poços com indicação da data de entrada em funcionamento e

apenas 47 com indicação da data de paralisação. Para os restantes poços assumiu-se uma data posterior a 2018 para a sua paralisação e assumiu-se que entraram em funcionamento em 2009.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS ASPETOS QUALITATIVOS

No âmbito deste projeto fez-se a amostragem de água em 100 poços, cuja caracterização se juntou aos dados já existentes. A caracterização físico-química, bacteriológica e isotópica das águas dos diferentes sistemas aquíferos foi realizada para avaliar as diferentes fácies hidroquímicas, o estado de qualidade das águas para diferentes usos, e a dimensão e origem da salinização. O conjunto de análises químicas centra-se em iões maiores (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-}), NO_3^- , ferro, dureza, condutividade elétrica (CE), pH, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD), a que se juntam alguns dados de metais pesados.

Nas principais conclusões obtidas verifica-se que as águas do sistema aquífero Cabo na RMR são na grande maioria (95,45%) consideradas como águas doces, dentro do limite de potabilidade para consumo humano para os STD e, na maior parte (68,18%), possuem salinidade baixa a baixíssima. A qualidade da água sofreu um aumento de alguns dos seus iões maiores, designadamente do cloreto, do cálcio, do magnésio e do sulfato e uma redução do bicarbonato. Salienta-se, o percentil 95 apenas é ultrapassado no caso do cloreto. Também o teor em ferro, manganês e flúor se apresenta elevado em diversas amostras. Este conjunto torna uma percentagem considerável da água como imprópria para consumo humano.

As águas do sistema aquífero Beberibe na RMR são, na maioria (90,91%) consideradas como águas doces, dentro do limite de potabilidade de 1000 mg/L para os STD, e ainda que 63,64% (cerca de 2/3) das amostras analisadas mostram baixa a baixíssima salinidade. A qualidade da água sofreu uma considerável degradação resultante de um processo de mineralização acentuado de todos os seus iões maiores, designadamente do cloreto e do sódio. Contudo, o percentil 95 apenas é ultrapassado no caso do cloreto. Também o teor em ferro e em carbonato de cálcio apresentam-se elevados em diversas amostras, tornando uma percentagem considerável como imprópria para consumo humano.

As águas do sistema aquífero Barreiras na RMR são todas consideradas como águas doces, dentro do limite de potabilidade para consumo humano e, na maior parte (77%), possuem salinidade baixíssima. As águas apresentam uma grande estabilidade na sua qualidade, que se mantém boa para consumo humano, com a ressalva do pH.

As águas dos aquíferos quaternários na RMR são na grande maioria (96%) consideradas como águas doces, dentro do limite de potabilidade para consumo humano para os STD e, na maior parte (72%) possuem salinidade baixa a baixíssima. A água sofreu um aumento de alguns dos seus iões maiores, designadamente do cloreto, do sódio e do cálcio. Contudo, o percentil 95 apenas é ultrapassado no caso do cloreto. Também o teor em ferro apresenta-se elevado em diversas amostras. Este conjunto torna uma percentagem considerável da água como imprópria para consumo humano.

A classificação das águas para irrigação, baseada nos valores de condutividade e no índice de adsorção de sódio (SAR) apresentam resultados muito variáveis, desde baixo a muito

alto risco de salinização e baixo a alto risco de alcalização, com as águas do sistema aquífero Beberibe e dos aquíferos quaternários a apresentarem os maiores riscos de salinização e alcalização.

5. ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS HIDROGEOLÓGICO

Para suportar o armazenamento, consulta, análise e partilha dos dados espaciais e outras informações referentes a captações, aquíferos explorados, usos de águas, e demais informações recolhidas e geradas neste estudo, desenvolveu-se um banco de dados hidrogeológico.

O esquema final de aplicação do modelo de dados geográfico proposto é descrito com base em 26 diagramas de classes UML (*Unified Modeling Language*), agrupados em 10 pacotes UML: Aquíferos e poços, Pressões antropogénicas, Perímetros de proteção, Redes de abastecimento e saneamento, Geomorfologia, Limites administrativos, Sistemas de drenagem, Sistemas superficiais, Séries temporais, Zoneamentos. Cada um destes pacotes suporta um ou mais diagramas de classes onde se descrevem diversos aspetos relacionados com as classes que os compõem. Exemplificativamente mostra-se na Figura 2 o diagrama de Classes UML *CaracterísticasPontoAgua* referente às características e utilização do ponto de água subterrânea.

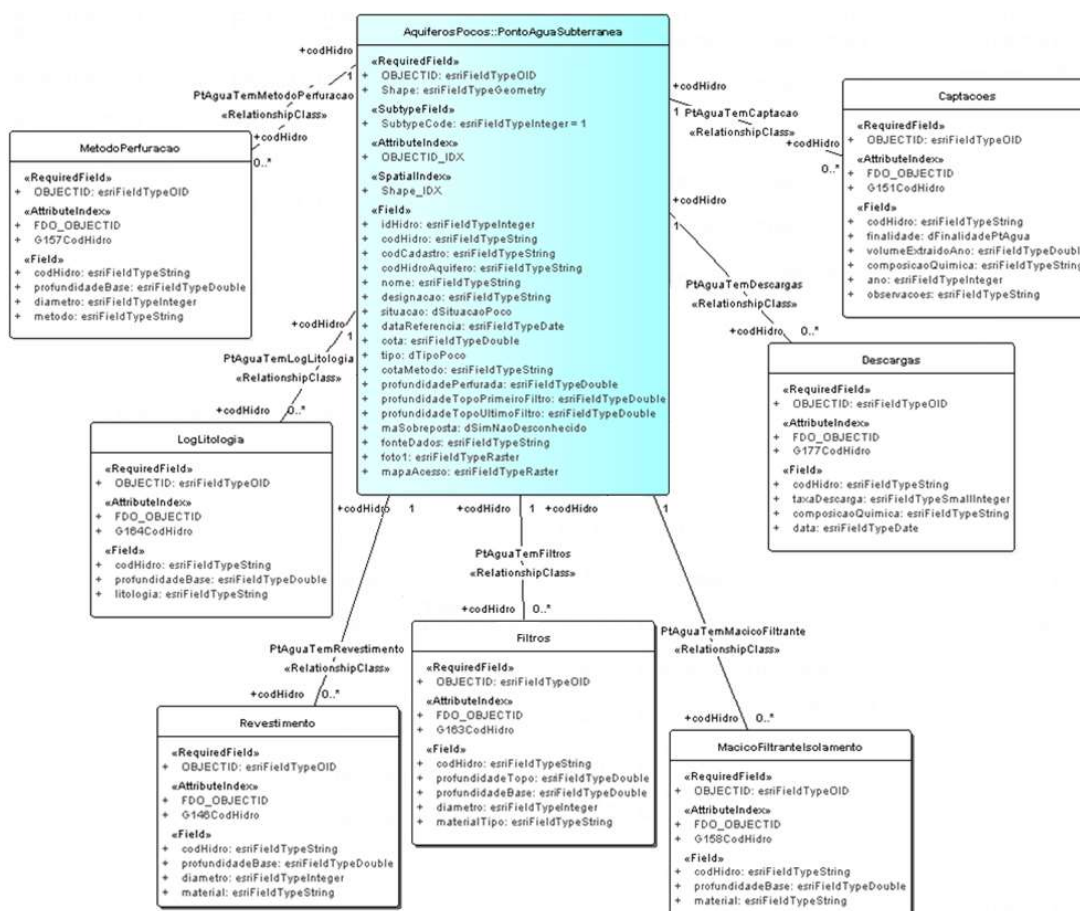


Figura 2. Diagrama de Classes UML *CaracterísticasPontoAgua* referente às características e utilização do ponto de água subterrânea

6. MODELO DE ESCOAMENTO NUMÉRICO

O conjunto de informação acima referido, junto com outras informações existentes sobre os poços e suas características hidrogeológicas, foram utilizados para elaborar os modelos conceptuais. Um dos aspetos cruciais é a definição da geometria do modelo que se baseia fundamentalmente na geometria das formações hidrogeológicas, que requer, além das suas áreas de ocorrência, a definição da base e do topo de cada formação. Esta foi feita a partir da interpretação da cartografia geológica, da informação já existente sobre as isopacas de várias formações geológicas, da análise das colunas litológicas dos poços e de variada bibliografia consultada sobre a região em apreço.

Dada a extensão da área a modelar e as especificidades de algumas das suas zonas, optou-se por se subdividir a RMR em três zonas distintas de modelação (Figura 1). A divisão foi feita com base no entendimento da hidrogeologia do local, nomeadamente a extensão e as propriedades das formações hidrogeológicas, as direções de escoamento subterrâneo, e a interação com os meios hídricos superficiais: o limite entre o modelo da zona Norte e o modelo da zona Centro é ditado pela ocorrência do Lineamento Pernambuco, que separa duas bacias sedimentares importantes, Paraíba a norte e Pernambuco a sul, e o limite entre o modelo da zona Centro e o modelo da zona Sul coincide com a área de afloramento do granito do Cabo, pertencente à Suíte Ipojuca, na zona do Cabo de Santo Agostinho.

A modelação numérica foi feita pelo método das diferenças finitas utilizando como pacote de base o modelo Modflow (McDonald e Harbaugh, 1988), tendo-se utilizado o programa de modelação VISUAL MODFLOW 2011.1. O espaço foi discretizado em células cujos centros representam as propriedades hidráulicas e as solicitações/pressões existentes na célula, um paralelepípedo cuja dimensão é ditada pelos espaçamentos da malha do modelo em duas direções horizontais perpendiculares e na direção vertical Z. As células de maior dimensão possuem 500 m de lado existindo uma transição gradual para células quadradas de 100 m de lado em áreas de maior refinamento da malha. O modelo Norte é composto por 5 camadas enquanto os modelos da zona Centro e Sul têm sete camadas cada.

Os modelos foram calibrados para a situação de escoamento natural (isto é, considerando a recarga e os rios mas sem extrações), para a situação de referência (período 2013-2015) e depois utilizando os mesmos parâmetros hidráulicos para os períodos de 2007-2009 e 1998-2000. Para a zona Sul, dada a escassa informação hidrogeológica existente e o reduzido número de pontos de observação, o modelo foi construído utilizando as características hidráulicas das camadas do modelo da zona Centro, mas não passou por um processo de calibração. Para os modelos das zonas Norte e Centro foram construídos mapas de piezometria por camada e calculados os respetivos balanços hidráulicos para os períodos de análise referidos, discriminando as trocas de água com o exterior, entre os vários sistemas aquíferos modelados, e entre a parte terrestre e a parte dos sistemas aquíferos subjacente ao mar, permitindo assim também perceber a contribuição para os volumes captados da água subterrânea proveniente do lado do mar.

Nos mesmos modelos foi feita a operação do modelo numérico através da consideração de três horizontes temporais de 5 anos, 12 anos e 20 anos e três cenários sobre as perspectivas de evolução da exploração dos aquíferos, designadas de pessimista, realista e otimista, todas elas implicando maiores extrações de água subterrânea, tendo-se obtido mapas de rebaixamento do nível piezométrico em relação à situação de referência de 2013-2015. Os

balanços hidráulicos também foram apresentados demonstrando o acréscimo da água subterrânea proveniente do lado do mar.

Os resultados individualizados do balanço hidráulico foram apresentados para os principais sistemas aquíferos da RMR (Beberibe, Cabo, Boa Viagem e Barreiras), através de blocos diagrama (Figura 3A), assim como mapas de piezometria dos sistemas aquíferos (Figura 3B) e dos fluxos de águas subterrânea através do seu teto e da sua base. Para os sistemas aquíferos confinados (Beberibe e Cabo) foram também apresentados mapas de dessaturação dos sistemas (Figura 3C), isto é, as áreas onde os aquíferos que em condição natural são confinados passaram a ter cotas de níveis piezométricos abaixo do topo do aquífero induzidas pelo incremento de extrações. Estes elementos são também indicadores da possibilidade de ocorrência de subsidência.

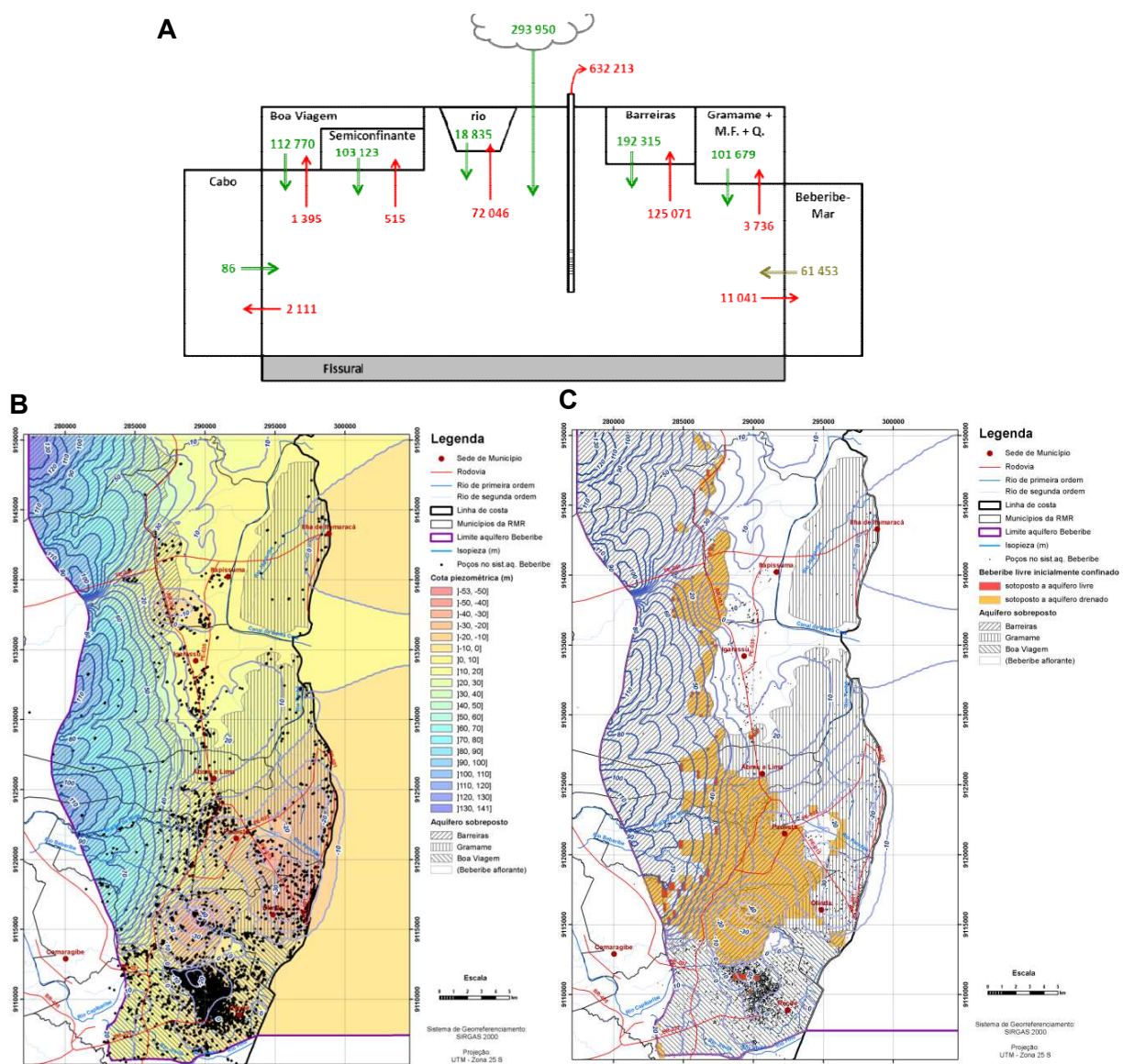


Figura 3. Resultados da modelação da situação de referência do aquífero Beberibe: A) Bloco diagrama do balanço hidráulico, B) Mapa piezométrico, C) Mapa de dessaturação

7. CONTRIBUTOS PARA INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Com base nos estudos desenvolvidos apresentou-se um conjunto de instrumentos de gestão que pretendem apoiar a decisão e que abrangem as temáticas da vulnerabilidade à poluição, proteção de aquíferos e de captações de águas subterrâneas, risco de poluição de águas subterrâneas, zoneamento da facilidade de infiltração, salinização de aquíferos e explorabilidade dos recursos hídricos da região. Os resultados são apresentados em forma de mapas para gestão regional do uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos. O estudo culminou com a apresentação de um conjunto de variáveis a ter em conta na definição de um novo mapa de explorabilidade da RMR, atualizando o mapa atualmente em vigor, utilizando os principais resultados provenientes da modelação a saber: isopieza dos 0 m nos sistemas aquíferos confinados (obtida na situação de referência), zonas de dessaturação (obtidas na situação de referência), zonas com maiores rebaixamentos dos aquíferos confinados (obtidas no cenário de exploração mais intensa, a 20 anos).

8. RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento deste estudo e a preparação dos dados hidrogeológicos e climatológicos para realizar a modelação conceptual e numérica permitiu identificar um conjunto de lacunas e de inconsistências que poderão ser melhoradas para robustecer o conhecimento hidrogeológico da RMR e a atualizar os modelos numéricos.

Nesse contexto apresentou-se um conjunto de recomendações relativas a: atualização do cadastro dos poços, desenho de uma rede de monitoramento de quantidade e de qualidade das águas subterrâneas e ao próprio procedimento de monitoramento, e rede pluviométrica.

As principais recomendações do estudo são: (1) o processo de zoneamento e definição de restrições à exploração dever ser dinâmico, mediante a revisão do mapa de explorabilidade no máximo de 3 em 3 anos em função do monitoramento existente, e (2) com novos dados de monitoramento e com nova informação sobre geometria e parâmetros hidráulicos dos sistemas aquíferos, o modelo numérico de escoamento, ferramenta essencial para definir os novos mapas de explorabilidade da RMR, dever ser reavaliado e se for o caso recalibrado com base na nova informação.

REFERÊNCIAS

Leitão, T.E.; Duarte Costa, W.; Oliveira, M.M.; Novo, M.E.; Martins, T.; Henriques, M.J.; Charneca, N.; Lobo Ferreira, J.P.; Viseu, M.T.; Santos, M.A.V.; Rocha, W.J.S.; Freitas Filho, A. (2017). Estudos sobre a Disponibilidade e Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Metropolitana do Recife: Relatório Final. Recife. Estudo realizado para a Agência Pernambucana de Águas e Clima e Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de Pernambuco, junho, 678 pp.

Lobo Ferreira, J.P. (1981). Mathematical Model for the Evaluation of the Recharge of Aquifers in Semiarid Regions with Scarce (Lack) Hydrogeological Data. Proceedings of Euromech 143/2-4 Sept. 1981, Rotterdam, A.A. Balkema (Ed. A. Verruijt e F.B.J. Barends). Também 1982, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória n.º 582.

McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. (1988). A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. U.S. Geological Survey. Chapter A1 – Book 6.