



O Arcabouço Geológico Subsuperficial na Cidade de Natal, Nordeste do Brasil: Inferências Pela Interpolação de Dados Litológicos de Poços.

Guttenberg Martins¹, Olavo Francisco dos Santos Junior¹ & Vera Lúcia Lopes de Castro²

Recebido 03 de abril de 2013/ Aceite em 18 de novembro de 2013

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Civil, ²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Escola de Ciência & Tecnologia, Campus Universitário S/N. Lagoa Nova, Natal-RN. CEP 59078-970. Autor para correspondência: guttenbergmartins@yahoo.com.br

Resumo

No presente artigo, inferências sobre a natureza geológica do subsolo raso da cidade de Natal foram elaboradas com base num conjunto de descrições litológicas de poços tubulares. Além dos solos arenosos, o registro geológico subsuperficial nessa região é constituído por rochas sedimentares siliciclásticas das formações Barreiras e Potengi. A metodologia consistiu inicialmente na transformação controlada dos atributos das descrições litológicas em valores numéricos. De forma que as variações granulométricas realçaram, segundo um modelo geológico estabelecido, as variações faciológicas relacionadas do ambiente fluvial meandrante das formações Barreiras e Potengi. Numa segunda etapa, o método de interpolação espacial baseado na triangulação de Delaunay foi aplicado. Os resultados obtidos no formato de seções pseudo-2D demonstraram ser uma abordagem realística para investigar a natureza geológica do subsolo raso, constituindo assim numa interpretação indireta do subsolo do município de Natal, e em especial das formações Barreiras e Potengi.

Palavras chaves: Geologia urbana, análise espacial, dados de poços.

Abstract

The superficial geologic framework of Natal, Northeast Brazil, was investigated based on lithologic data obtained of tubular wells. A methodology developed in this article comprised the controlled transformation of the attributes of lithologic descriptions in numeric values. The subsurface geological record in studied area is composed of siliciclastic sedimentary rocks of Barreiras and Potengi formations, specially exposed forming the coastal cliffs. Therefore, considering a geological model established, the scale of numerical transformation emphasized lithofacies variations related Barreiras and Potengi formations, which was deposited in meandering fluvial system. The method of spatial interpolation based on the Delaunay triangulation was applied in a second step. The results obtained here is presented in the form of pseudo-2D sections and demonstrated be a realistic approach to investigate the geological record formed by siliciclastic rocks. The methodology is therefore an indirect interpretation of the basement of the city of Natal, and in particular of the Barreiras and Potengi formations.

Keywords: Urban geology, spatial analysis, wells data.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização em escala mundial vem induzindo a transformação brutal nas modalidades de uso e ocupação do ambiente natural. Consequentemente, a abordagem do meio físico em áreas urbanizadas têm-se diversificado, acompanhando a demanda de manutenção e melhoria dos serviços urbanos (Weber & Puissant, 2003, May et al., 2010). Dentre os diversos tipos de abordagens, principalmente as relacionadas com as características dos solos e do subsolo e suas propriedades físicas, tornaram-se indispensáveis à implantação de obras de engenharia nas cidades (Fuchuet al., 1994, Baker, 1974, Foster, 2001). De forma que a investigação do subsolo raso em áreas urbanas para fins de geologia de engenharia aglutina uma diversidade metodológica, incluindo técnicas geofísicas e geotécnicas (Berres et al., 2001, Thierry et al., 2005, Abreu et al., 2009), dentre as quais, destacam-se as informações obtidas através da execução de sondagens e poços. Neste sentido, o uso de modelagem matemática para tratamentos de dados geológicos e geotécnicos em áreas urbanas também tem se ampliado, com aplicações em estudo de estabilidade de taludes e análise de fluxo bidimensional (e.g., GEOSTUDIO, 2004 a,b), erosão de solos (Vilar, 1987) e dispersão de poluentes (Diniz & Meyer, 2004), entre outras áreas.

A contribuição básica desse artigo é apresentar um método de investigar o subsolo raso de áreas urbanas através da aplicação da interpolação espacial de dados litológicos de poços tubulares, associada com a transformação das descrições litológicas em dados numéricos. No caso tratado aqui, objeto é o arcabouço geológico subsuperficial da cidade de Natal, situada no nordeste brasileiro, cujo registro é composto por solos arenosos e rochas

sedimentares siliciclásticas das formações Barreiras e Potengi.

O ARCABOUÇO GEOLÓGICO NA REGIÃO DE NATAL

Formação Barreiras

A unidade geológica de ocorrência mais expressiva litoral do Brasil, a formação Barreiras (“Série Barreiras” segundo Branner, 1902; Moraes, 1924; Oliveira e Leonardos, 1943; Formação Barreiras segundo Kegel, 1957; e grupo Barreiras segundo Bigarella & Andrade, 1964) é composta de rochas sedimentares siliciclásticas que constituem falésias ao longo da costa. A sua idade posicionada entre o Mioceno até o Plioceno-Pleistoceno constitui uma questão em disputa, visto que a maioria dos dados cronológicos deriva de interpretações geomorfológicas e paleoclimáticas (Bezerra *et al.*, 2006). Sua natureza apontada como essencialmente continental tem sido reexaminada por trabalhos recentes que mostram evidências paleontológicas e sedimentológicas de ambiência marinha (Rossetti, 2006; Arai, 2006).

Outros pontos controversos sobre a formação Barreiras estão nas proposições de sua subdivisão estratigráfica. Por exemplo, Bigarella & Andrade (1964) propuseram a subdivisão do grupo Barreiras nas formações Guararapes (basal) e Riacho Morno; Campos e Silva (1966) distinguiram na região de Natal duas outras unidades superpostas à Formação Riacho Morno, denominadas de Formações Macaíba e Potengi; Mabeoone, Campos Silva & Beurlen (1972) subdividiram o Grupo Barreiras nas Formações Serra dos Martins, Guararapes e Macaíba; e Nogueira (1981, 1982) propôs a ocorrência da formação Natal encontrada acima da formação Macaíba. Portanto, devido à sua vasta ocorrência e falta de acuidade metodológica, as abordagens,

correlações, generalizações regionais feitas sobre a formação Barreiras tornaram-se questionáveis.

Face aos objetivos desse trabalho, a revisão do conhecimento geológico sobre a formação Barreiras será restringido aos estudos que abordam a região de Natal. Deste modo ressaltam-se os estudos elaborados por Araújo *et al* (2006) sobre as ocorrências da formação Barreiras nas falésias das praias da Barreira do Inferno e da Tabatinga, nos quais enfatizam a caracterização faciológica aplicada sob os conceitos da estratigrafia de seqüência reconstrução paleogeográfica. Araújo *et al* (2006) propuseram a individualização das seguintes fácies: 1) fácies Gt-Conglomerados sustentados por matriz arenosa com estratificação cruzada acanalada de grande a médio porte subordinadamente, conglomerados clastos suportados; 2) fácies St – arenitos amarelados de textura muito grossa, grossa e média, com raros clastos de argila, exibindo estratificação cruzada acanalada e subordinadamente tabular, mostrando eventualmente seixos dispersos; e 3) fácies Fl - lamitos com diferentes proporções de argila, silte e areia mostrando coloração avermelhada, com intercalação de arenito fino e muito fino e excepcionalmente, areia média exibindo laminações plano-paralelas e bioturbações. Com base no empilhamento vertical das fácies e da correlação longitudinal destas, os autores ainda individualizaram ciclos de afinamento textural para o topo correlacionáveis com os modelos de sistemas fluviais meandantes onde os depósitos de preenchimento de canal compreenderiam os fácies Gt e St e os depósitos de planícies de inundação, os lamitos da fácies Fl.

Formação Potengi

Em termos lito-estratigráficos, os sedimentos sobrepostos à Formação Barreiras são agrupados com a denominação de formação

Potengi. Como definida nos afloramentos das falésias, essa formação apresenta uma fácies basal conglomerática sobreposta por uma fácies areno-conglomerática. Vilaça (1986) denominou de Formação Potengi aos sedimentos areno-quartzosos com pouca argila, grânulos de limonita, seixos distribuídos aleatoriamente e coloração amarelo-avermelhada. Em parte, a Formação Potengi corresponde à formação Natal proposta por Nogueira *et al.* (1984), a qual era descrita como camadas arenosas com laminações paralelas nas suas porções superiores, e na parte basal, fácies conglomeráticas. Portanto, a Formação Potengi é uma seqüência siliciclástica essencialmente arenosa e parcialmente consolidada aflorante nas porções superiores das falésias, sendo constituída por sedimentos eólicos antigos retrabalhados e contribuições de paleosolos da Formação Barreiras.

Coberturas Holocênicas

Os registros geológicos de idades holocênicas constituem depósitos sedimentar relacionados com a dinâmica da interação oceano-continente. Os depósitos eólicos são as coberturas holocênicas mais expressivas na região de Natal. Segundo Barreto *et al.* (2004), os depósitos eólicos ocorrem como dunas ativas com pouca ou nenhuma vegetação, caracterizadas pela predominância de barcanas isoladas ou barcanóides associadas às frentes parabólicas transgressivas; ou como dunas inativas vegetadas em formas parabólicas simples, formas parabólicas compostas com cristas atenuadas e com formas longitudinais. Como depósitos eólicos ocorrendo também os lençóis arenosos constituídos por formas mais tênues ou dissipadas. Nas planícies estuarinas são encontrados depósitos areno-argilosos formando barras arenosas, as quais foram retrabalhadas pelas marés. Os depósitos arenosos de granulometria

média a grossa predominam nas faixas de praias, nas quais afloram rochas de praia (*beach rocks*) em forma de cordões lineares. Os *beach rocks* apresentam variação granulométrica de areia fina a conglomerática, com estratificações cruzadas acanaladas e cruzadas, as quais estão relacionadas com ambientes de intermaré e inframaré (Bezerra *et al.*, 1998).

MATERIAIS E MÉTODOS

O conjunto de dados geológicos analisados neste trabalho foi coletado de perfis litológicos de poços de captação de água subterrânea da Companhia de Águas e Esgoto do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), cedidos pela Agência Reguladora de Serviços de Saneamento Básicos de Natal (ARSBAN), e do Projeto “Cadastramento e Nivelamento de Poços do

Aquífero Barreiras no município de Natal” (SERHID, 2006).

Devido existir no município de Natal, 1481 poços cadastrados (SERHID, 2006), a primeira etapa foi seleção e o agrupamento de perfis litológicos considerando a contiguidade lateral e longitudinal entre eles por região do município. A localização dos poços selecionados encontra-se na figura 1. A segunda etapa foi elaborar correlações litológicas entre os perfis baseadas em comparações lito-estratigráficas, tendo como padrões referenciais os perfis aflorantes nas falésias de Barreira do Inferno e Tabatinga e com apoio do *software* SGeMS. Na terceira etapa, após a obtenção das correlações lito-estratigráficas, foi elaborar modelos geoestatísticos suportados pelo uso de *softwares* tais como Surfer e SGeMS.

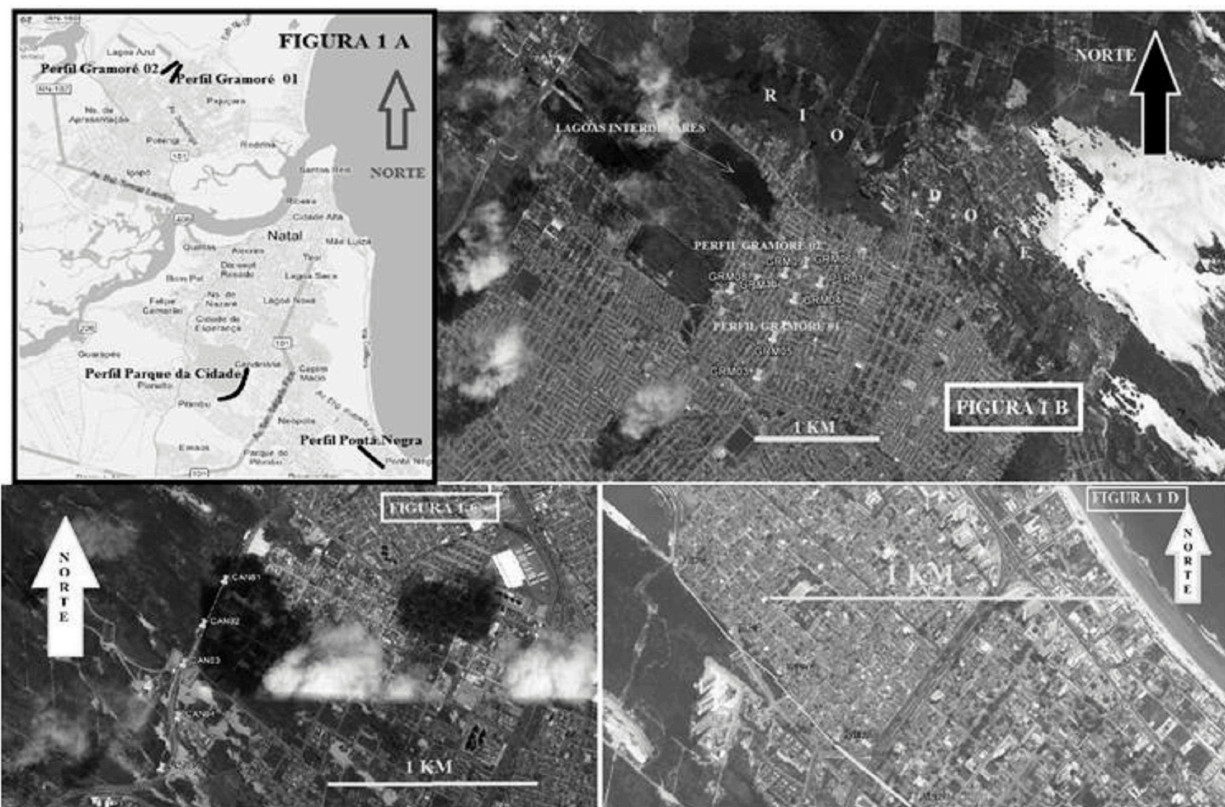


Figura 1 – (A) Localização dos perfis na cidade de Natal. Carta-imagens extraídas do Google.com localização dos perfis Gramore 01 e Gramore 02 (B), Parque da Cidade (C) e Ponta Negra (D).

O Surfer é um conjunto de aplicativos desenvolvido pela Golden Software Inc. para visualização 3D de contorno e modelagem de superfície a partir de interpolação de dados executável em ambiente *Windows* (Golden Software, 2010). O SGeMS (*Stanford Geostatistical Modeling Software*) é um programa de computador de código aberto que resolve problemas envolvendo variáveis espacialmente relacionadas e que fornece aos profissionais de geoestatística, uma interface amigável, uma visualização interativa em 3D, e uma grande variedade de algoritmos (Remy *et al.*, 2009).

A interpolação dos dados litológicos de poços

Para estabelecimento de um modelo numérico, o passo inicial foi a atribuição de pesos para a obtenção de valores numéricos da variável regionalizada ($z =$ litologia). Portanto, a transformação das descrições litológicas dos perfis dos poços em dados numéricos envolveu a criação de categorias hierarquizadas em função das variações litológicas dos sedimentos das Formações Barreiras e Potengi, além das dunas e solos.

As categorias consideradas nas descrições de poços foram (1) litologia predominante, (2) granulometria predominante, (3) granulometria secundária, (4) coloração principal e (5) característica litológica secundária, e tratando-se de sedimentos silicilásticos foram hierarquizadas segundo a variação granulométrica. Outro aspecto realçado na obtenção dos valores numéricos de “z” foram variações granulométricas bruscas nos perfis de poços. Portanto, variações granulométricas do tipo calcário/conglomerados ou argila/conglomerados representam patamares bruscos de variação de “z”.

Desta forma, as variações faciológicas descritas por Araújo *et al.* (2006) apresentam realce importante na escala estabelecida de valores numéricos e/ou na discriminação da variação litológica nas Formações Potengi e Barreiras. As tabelas 1 e 2 apresentam os valores numéricos hierarquizados atribuídos para as características litológicas e os valores numéricos obtidos para os diversos tipos litológicos.

Tabela 1 – Quadro de hierarquização das características litológicas consideradas na obtenção de valores numéricos para o atributo litologia ($z =$ litologia).

Valor	Litologia predominante	Classe granulométrica predominante	Classe granulométrica secundária	Coloração	Característica litológica secundária
0	Calcário	Silte	Silte	Branco	Calcífero
1	Argilito (argila, solo argiloso)	Argila	Argila	Amarelo	Argiloso
2	Arenito (areia, solo arenoso)	Areia fina	Areia fina	Verde, róseo ou creme	Pouco argiloso
3	Conglomerado	Areia média	Areia média	Vermelho	Siltoso
8	Sem atribuição	Areia grossa	Areia grossa	Cinza	Pouco siltoso
9		Cascalho	Cascalho	Preto	Cascalho

Tabela 2 – Exemplos de valores numéricos obtidos para tipos litológicos.

Valor	Litologia predominante	Classe granulométrica predominante	Classe granulométrica secundária	Coloração	Característica litológica secundária
11133	Argila	Argila	Argila	Vermelho	Siltoso
11183	Argila	Argila	Argila	Cinza	Siltoso
20000	Areia de duna, solo arenoso				
22210	Arenito	Areia fina	Areia fina	Amarelo	Calcífero
22319	Arenito	Areia fina	Areia média	Amarelo	Cascalho
22888	Arenito	Areia fina	Areia gossa	Cinza	Pouco siltoso
28889	Arenito	Areia gossa	Areia gossa	Cinza	Cascalho
29939	Arenito	Cascalho	Cascalho	Vermelho	Cascalho

O passo adiante à categorização hierarquizada das características litológicas dos dados de poços foi a obtenção de um modelo geológico referencial. Tal modelo tem como principal finalidade a determinação de parâmetros para um modelo inferencial que considere explicitamente o relacionamento espacial das variáveis “profundidade e litologia” (Câmara *et al.*, 2004). Para tanto foram selecionados dois subconjuntos de dados litológicos de poços do distrito de Gramoré, os quais foram projetados em 3D com suporte do software SGeMS.

No modelo geológico obtido (Figura 2), os seguintes parâmetros na variação espacial da litologia foram considerados: 1) predominância

da horizontalidade na disposição espacial decorrente da natureza não deformada das camadas; 2) presença de quebras abruptas de gradientes (anisotropia) na variação granulométrica causada pela deposição sedimentar em ambiente fluvial anastomosado; 3) a não existência de falhas ou fraturas devido à abrangência geográfica restrita dos poços, e por fim; 4) superfície relativa plana formada pela ocorrência do arenito calcífero como marco da base da Formação Barreiras. Portanto, devido às características descritas no modelo geológico, na interpolação dos dados litológicos de poços foi considerada uma anisotropia elevada na distribuição espacial e a distribuição destes numa malha regular.

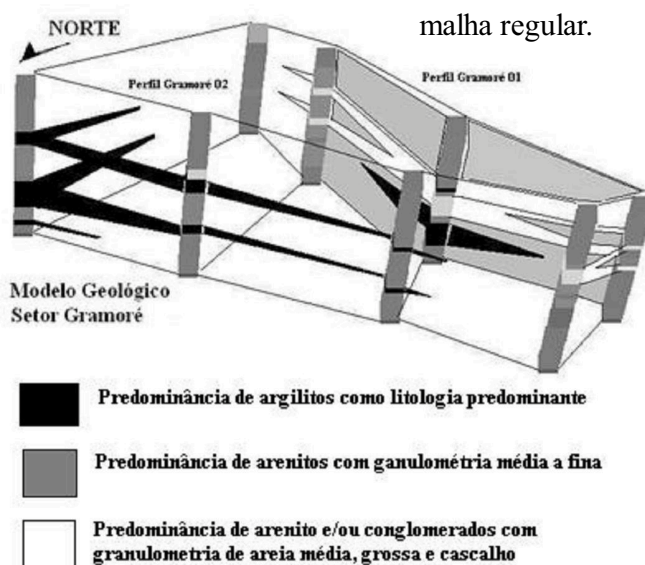


Figura 2 – Modelo geológico referencial obtidos com os dados litológicos de 8 poços de captação de água perfurados no distrito de Gramoré, região norte do município de Natal.

Face às considerações anteriores, optou-se por um método de interpolação determinístico local, a triangulação com interpolação linear, o qual é aplicado na modelagem de objetos sólidos e em construção de malhas de elementos finitos. Esse método exato de interpolação, disponível no software SURFER (Golden Software, 2010), usa a triangulação de Delaunay ideal, na qual um algoritmo cria triângulos que desenha linhas entre os pontos dados, funcionando melhor quando os dados são distribuídos uniformemente sobre a área da grade (Lee & Schachter, 1980, Guibas & Stolfi, 1985). Outra vantagem desse método é utilizar uma malha irregular adaptável para aplicações geológicas, tendo a capacidade de descrever variações dos padrões nas quais exigem alto grau de flexibilidade geométrica (Clevis *et al.*, 2006). Os principais resultados das interpolações são apresentados como seções pseudo-2D, aqui denominadas de perfis, formadas pela variação da latitude e da profundidade, entretanto, a longitude não encontra-se representada.

RESULTADOS OBTIDOS

Os dados de duas seções pseudo-2D, aqui denominadas como perfis, do distrito de Gramoré foram processados no SURFER para obtenção de um arquivo do tipo GRID. Nesse processamento foi aplicada a triangulação com interpolação linear com anisotropia prolata vertical na razão de 0,5 e ângulo 0°. Os mapas de contorno (arquivos grids) obtidos constituem duas seções segundo a direção aproximada E-O, formados cada um com 4 poços, tendo intervalos regulares de profundidade de 2 metros e formatos gráficos com contornos suavizados.

O perfil Gramoré 01 (Figura 3) foi elaborado os valores de profundidade corrigidos pela topografia, e aponta uma superfície relativa plana formada pela ocorrência do arenito

calcífero, tido como o marco da base da formação Barreiras. Neste perfil observam-se duas camadas de sedimentares de granulação grossa. Essas podem corresponder a arenitos de granulação grossa a média que passam a conglomerados (cf. fácies Gt e St de Araújo *et al.*, 2006). Essas camadas são superpostas por camadas de sedimentos de granulação fina, as quais podem corresponder a lamitos de depósitos de planícies de inundação, descrito como fácies F1 por Araújo *et al.* (2006). Outro aspecto observado é a não configuração de uma graduação brusca entre os lamitos e os sedimentos arenosos. Devido à pequena variação topográfica, o perfil Gramoré 02 (Figura 4) foi elaborado sem a correção nos valores de profundidade e não apresenta uma superfície relativa plana na base da formação Barreiras. No perfil Gramoré 02 é notada a existência de vários horizontes sedimentares de granulação fina, entre os quais, ocorrem dois horizontes de sedimentos de granulação grossa.

Com os mesmos parâmetros aplicados aos perfis anteriores, acrescidos da correção topográfica, foi obtido o perfil denominado “Parque da Cidade” (Figura 5). Esse perfil é formado por um conjunto de 5 poços, localizados na porção sudeste do município de Natal. No perfil “Parque da Cidade” observa-se a presença de quatro camadas de arenitos finos e/ou argilas, e de uma pronunciada camada de sedimentos de granulação grossa. Na porção superior é registrada a presença dos corpos de dunas e de duas camadas pouco extensas de sedimentos de granulação grossa. Da mesma forma foi obtido o perfil “Ponta Negra” (Figura 6), situado na porção sul de Natal. Observa-se nesse perfil, uma contínua camada de arenitos finos e/ou argila capeada pelos materiais de dunas e sedimentos de granulação grossa.

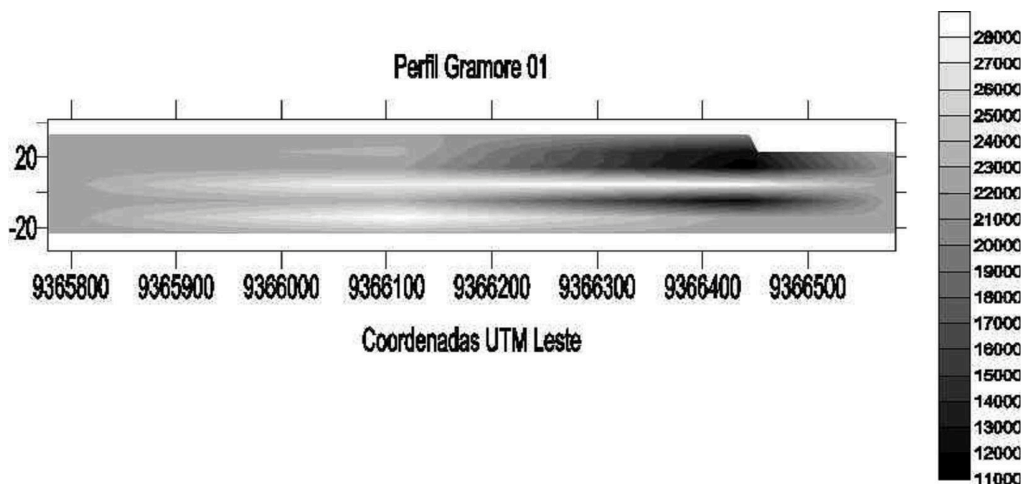


Figura 3 - Seção pseudo 2D denominada de Perfil Gramoré 1. Ao lado, a escala em tons de cinza representa a variação numérica dos dados litológicos (variação de valores segundo a legenda da Figura 2).

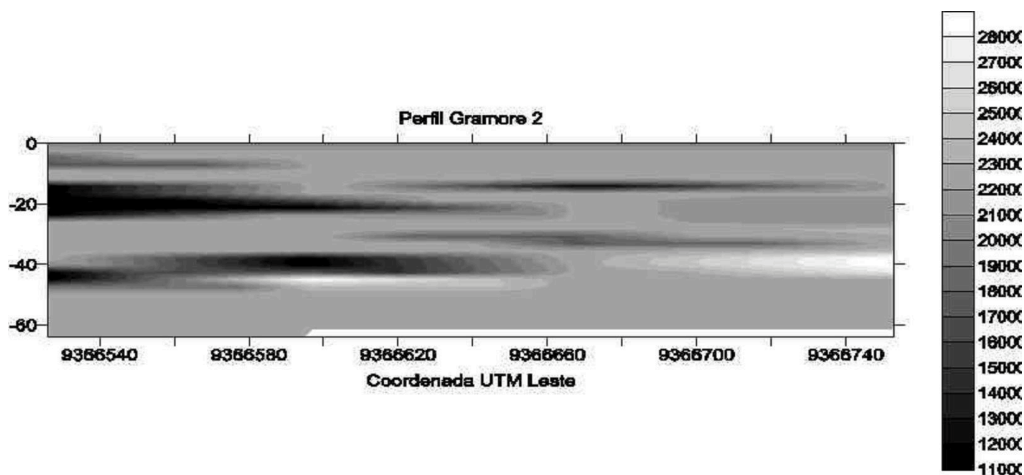


Figura 4 - Seção pseudo 2D denominada de Perfil Gramoré 2 (variação de valores segundo a legenda da Figura 2)

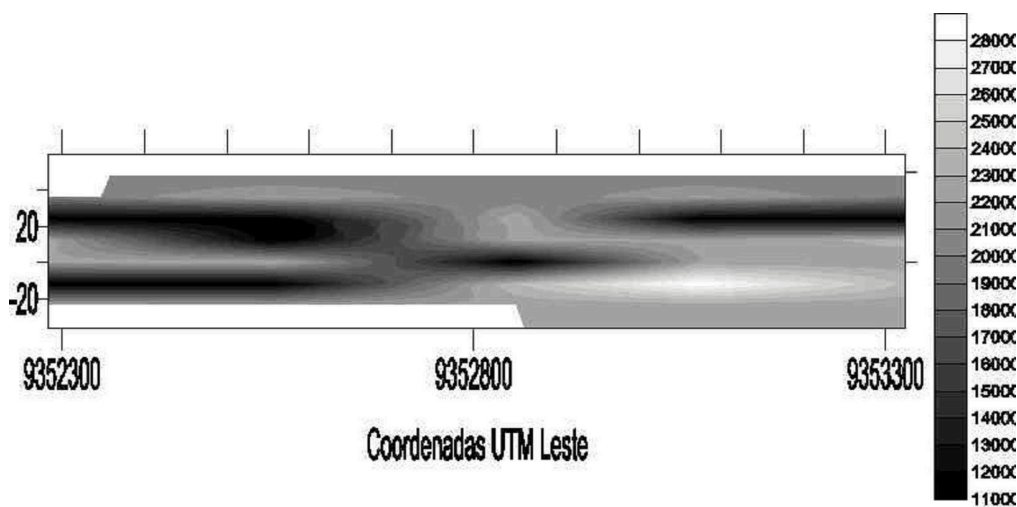


Figura 5 – Seção pseudo 2D denominada de Perfil Parque da Cidade (variação de valores segundo a legenda da Figura 2).

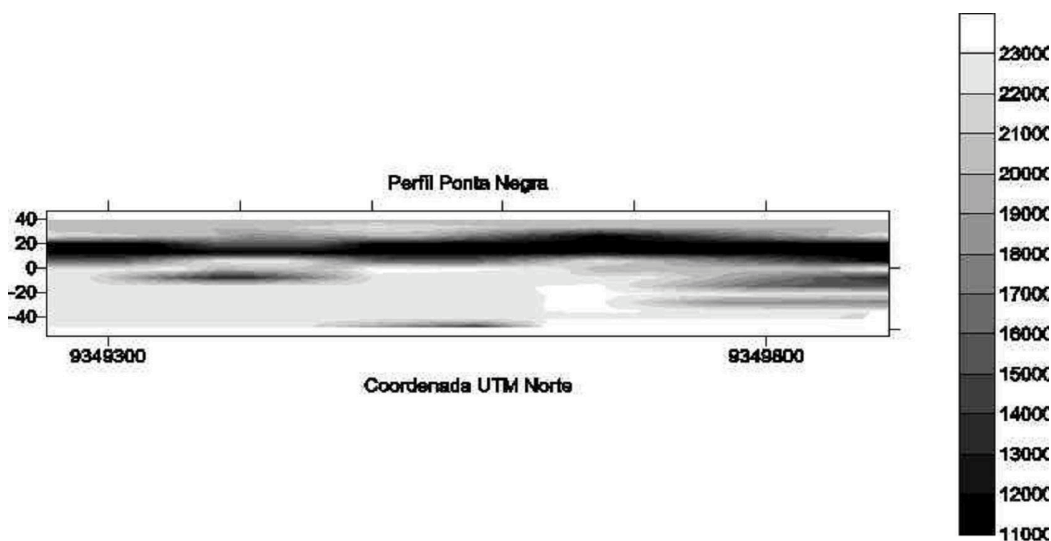


Figura 6 – Seção pseudo 2D denominada de Perfil Ponta Negra (variação de valores segundo a legenda da Figura 2).

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, através do processamento dos dados litológicos de poços, demonstraram que uma abordagem realística pode ser alcançada na investigação do subsolo raso de regiões urbanas. Portanto, através da transformação de atributos da variável litologia em valores numéricos, e da aplicação da interpolação dos valores numéricos derivados dessa transformação pela triangulação de Delaunay, obteve-se uma interpretação indireta do subsolo do município de Natal, e em especial, das Formações Barreiras e Potengi. Vale ressaltar, a importância dos parâmetros estabelecidos pelo modelo geológico e a flexibilidade geométrica do método de interpolação aplicado.

De forma diagramática, as seções pseudo-2D ou perfis revelaram de forma realística os traços mais marcantes das variações faciológicas na Formação Barreiras em vários setores do município de Natal. Entre esses aspectos, destacaram-se as variações de sedimentos de planície de inundação sobrepostos por sedimentos de depósitos de canal, ou

invertidamente. Essas feições, também delineadas nos perfis obtidos, corroboram com a proposição de Araújo *et al.* (2006) da deposição da Formação Barreiras num ambiente fluvial meandrante. Nos perfis Parque da Cidade (Figura 5) e Ponta Negra (Figura 6), as camadas de granulação grossa, dispostas em suas porções superiores, podem sugerir a presença da Formação Potengi.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A.E.S.; AUGUSTO FILHO, O. 2009. Mapeamento geotécnico para gestão municipal [Engineering geological mapping for municipal planning]. *Geotecnia* v. 115, pp: 45–80.
- ARAI, M. 2006. A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do grupo barreiras. *Geol. USP, Sér. cient.*, vol.6, no.2, p.1-6.
- ARAÚJO, V. D., REYES-PERES Y.A.; LIMA R.O., PELOSI, A.P.M.R.; MENEZES L.; CÓRDOBA V.C.; LIMA-FILHO F.P., 2006. Fácies e Sistema Depositional da Formação Barreiras na Região da Barreira do Inferno, Litoral Oriental do Rio Grande do Norte. *Geol. USP Sér. Cient.*, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 43-49, outubro 2006.
- BAKER, V.R. 1975. Urban geology of Boulder, Colorado: a progress report. *Environmental Geology* n. 1, pp. 75–88.

- BRANNER, J.C. 1902. Geology of the Northeast coast of Brazil. Geological Society of America Bulletin, v. 13, pp. 41-98.
- BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F. H. R.; TATUMI S.H.; YEE, M.; GIANNINI, P.C.F. 2004. Geologia e geomorfologia do quaternário costeiro do estado do Rio Grande do Norte. Geol. USP, Sér. cient., vol.4, no.2, p.1-12.
- BERES, M.; LUETSCHER, M.; OLIVIER, R. 2001. Integration of ground-penetrating radar and microgravimetric methods to map shallow caves. Journal of Applied Geophysics, v.46, n. 4, p. 249–262.
- BEZERRA, F.H.R.; MELLO, C.L.; SUGUIO, K. 2006. A Formação Barreiras: recentes avanços e antigas questões. Geol. USP, Sér. cient., vol.6, no.2, p.III-VI.
- BEZERRA, F. H. R.; LIMA-FILHO, F. P.; AMARAL, R. F.; CALDAS, L. H. O.; COSTA-NETO, L. X. Holocene coastal tectonics in NE Brazil. In: STEWART, I.; VITA-FINZI, C. (Eds.) Coastal tectonics. London, 1998. p. 279-293. (Geological Society London Special Publication, 146).
- BIGARELLA, J. J. & ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos Cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Instituto de Ciências da Terra, Universidade do Recife: Recife, 1964
- CAMPOS e SILVA, A. Considerações sobre o Quaternário no Rio Grande do Norte. Arquivo do Instituto de Antropologia, Natal, v. 2, p. 275-301, 1966.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M.S. 2004. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds) “Análise Espacial de Dados Geográficos”. Brasília, EMBRAPA, 2004.
- CLEVIS, Q.; TUCKER, G.E.; LANCASTER, S.T.; DESITTER, A.; GASPARINI, N. LOCK. 2006. A simple algorithm for the mapping of TIN data onto a static grid: Applied to the stratigraphic simulation of river meander deposits. Computers & Geosciences, Vol. 32, n. 6, pp. 749-766.
- DINIZ, G.L.; MEYER, J.F.C.A. 2004. Estudo e modelagem matemática da dispersão de poluentes em sistemas estuarinos. Biomatemática, v. 4, p. 103-118.
- FOSTER, S. 2001. The interdependence of groundwater and urbanization in rapidly developing cities. Urban Water n. 3, pp. 185–192.
- FUCHU, D., YUHAI, L., SIJING, D. 1994. Urban geology: A case study of Tongchuan City, Shaanxi Province, China. Engineering Geology, n. 38, pp. 165–175.
- GEOSTUDIO, 2004 a. Seep/w for finite elements seepage analysis.; Seepage modeling with Seep/w. An Engineering methodology. Geostudio, Calgary – Alberta.
- GEOSTUDIO, 2004 b. Stability modeling with Slope/w. An Engineering methodology. Geostudio, Calgary – Alberta.
- Golden Software, 2010. Título da pesquisa disponível em: <http://www.goldensoftware.com/products/surfer/surfer.shtml>. Acesso em Abril/2011.
- Guibas, L., and J. Stolfi, 1985. Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams, ACM Transactions on Graphics, v. 4, n. 2, p. 74-123.
- LEE, D.T.; SCHACHTER, B.J. 1980. “Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation,” International Journal of Computer and Information Sciences, v. 9, n. 3, p. 219-242.
- LANDIM, P.M.B. 2000. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 20 pp. Título da pesquisa disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>.
- KEGEL, W. 1957. Contribuição ao estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro: DGM, 1957. 52 p. Boletim da Divisão de Geologia e Minerologia, 170.
- MABESOONE, J. M.; CAMPOS e SILVA, A.; BEURLIN, K. 1972. Estratigrafia e origem do Grupo Barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Geociências, v. 2, n. 3, pp. 173-188.
- MAY, M. EL, DLALA, M., CHENINI, I., 2010. Urban geological mapping: Geotechnical data analysis for rational development planning. Engineering Geology, n. 116, pp. 129–138.

Martins, Santos Jr & Castro. O arcabouço geológico subsuperficial na cidade de Natal...

- MORAES, L. J. , 1924. Serras e montanhas do nordeste. Rio de Janeiro. 1077 p. (Coleção Mossoroense, 35).
- NOGUEIRA, A.M.B., 1981. O cenozóico continental da região de Natal. Boletim do Departamento de Geologia, Natal, n. 3, p. 15-24, 1981
- NOGUEIRA, A.M.B., 1982. O cenozóico continental da região de Natal/RN. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco (Coleção Textos Acadêmicos). 125p., 1982.
- NOGUEIRA, A.M.B.; NASCIMENTO, J.M.S.; LIMA, M.S.; OLIVEIRA, M.I.M.; SRIVASTAVA, N.K. 1984. Geologia da faixa litorânea entre Graçandu e Maxaranguape-RN. Bol. do DG, CCE/UFRN, Natal, 9:25-30, 1984.
- OLIVEIRA, A. I.; LEONARDOS, O. H. 1943. *Geologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Serviço de Informação Agrícola, 813 p., 37 estampas (Série Didática, 2).
- REMY, N., BOUCHER, A & WU, J., 2009. Applied Geostatistics with SGeMS - A User's Guide. Cambridge University Press. London, U. K.
- ROSSETTI, D. F. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. Geologia USP: Série Científica, São Paulo, v. 6, p. 7-18, 2006.
- SERHID (2007). Cadastramento e Nivelamento de Poços do Aquífero Barreiras no Município de Natal /RN. Secretaria Estadual de Recursos Hídricos, Natal-RN, vol. 1, 198 pp.
- THIERRY, P.; DEBEGLIA, N.; BITRI, A. 2005. Geophysical and geological characterization of karst hazards in urban environments: application to Orleans (France). Bulletin of Engineering Geology and the Environment 64, 139–150.
- VILAÇA, J.G. 1986. Geologia ambiental costeira da região de Extremoz. Relatório de Graduação. UFRN. Dep. Geologia. Natal.
- VILAR, O. M. 1987. Formulação de modelo matemático para erosão dos solos pela chuvas. Tese de Doutorado. EESC/USP. 196 pp.
- WEBER, C.; PUISSANT, A. 2003. Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis Metropolitan Area. Remote Sensing of Environment, n. 86, pp. 341 – 352.