



Ensaio de Permeabilidade nos Materiais Inconsolidados do Município de Natal – RN: Suscetibilidade e Risco Potencial de Deslizamentos e Inundações

Melquisedec Medeiros Moreira

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC INPE CRN, Natal-RN, Brasil, melquisedec.moreira@inpe.br

Newton Moreira de Souza

Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília-DF, Brasil, nmsouza@unb.br

Kátia Alves Arraes

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE CRN, Natal-RN, Brasil, katia.arraes@inpe.br

RESUMO: A execução deste estudo consistiu de uma caracterização geológico-geotécnica de uma área costeira de aproximadamente 62 km². O mesmo foi desenvolvido a partir dos procedimentos e premissas do Manual para o Zoneamento de Suscetibilidade de Perigo e Risco do Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1) inseridos no programa “Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço” do MCTIC/INPE/CRN. Foram apontadas diretrizes para maximizar o aproveitamento integrado dos recursos hídricos da região: o aquífero Dunas-Potengi é tipicamente livre, com alta taxa de infiltração e boas condições de armazenamento e circulação de água; o aquífero Barreiras apresenta um comportamento, na grande maioria, sob condições de semi-confinamento. Usando o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (DRONE), será possível gerar imagens georreferenciadas e ortorretificadas da cidade, além de permitir que o processo de mapeamento seja exercitado e acompanhado em sua plenitude.

PALAVRAS-CHAVE: Inundações; Sensoriamento Remoto; Cartografia Digital.

1 INTRODUÇÃO

O Programa de Redução de Riscos (Ministério das Cidades, 2007), propõe uma metodologia para mapeamento de áreas de risco de inundações elaborado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT - que segue os seguintes passos: a) identificação e delimitação preliminar de área de risco em fotos aéreas de levantamentos aerofotogramétricos, imagens de satélite, mapas, guias de ruas, ou outro material disponível compatível com a escala de trabalho; b) identificação de área de risco e de setores de risco (setorização preliminar) em fotos aéreas

de baixa altitude (quando existir); c) levantamentos de campo para setorização (ou confirmação, quando existir a pré-setorização), preenchimento da ficha de cadastro e uso de fotos de campo. Após o zoneamento de áreas de risco a inundação, bem como a produção de informações de diagnósticos e prognósticos levantadas pelo estudo, os dados podem ser utilizados pelo poder público no sentido de apoio a regulamentação das áreas de risco a inundação. Estes elementos devem estar contidos no Plano Diretor da Cidade já que a ordenação do processo do uso e ocupação do solo urbano é uma atividade de competência



municipal.

Há vários enfoques para se chegar a um mapeamento de riscos de escorregamentos. Cada país, e, dentro de cada país, cada grupo, adota metodologias semelhantes, mas com detalhes que as diferenciam, dando produtos às vezes bastante diferentes. Foi com o intuito de padronizar uma metodologia que pudesse ser adotada universalmente que o Comitê Técnico Unificado de Escorregamentos de Terra e Taludes de Engenharia (JTC1 – “Joint Technical Committee 1 – Landslides and Engineered Slopes”, da ISSMGE, IAEG e ISRM) decidiu firmar um documento, com o consenso de especialistas das três entidades internacionais – de Mecânica dos Solos, de Geologia de Engenharia e de Mecânica das Rochas -, que definisse os passos a serem tomados em um Mapeamento de Risco. Desta forma, elaborou-se um “Manual para o zoneamento de susceptibilidade de perigo e risco de deslizamento para o planejamento de uso do solo” (Fell et al., 2008), que foi publicado em um número especial da revista Engineering Geology juntamente com vários outros artigos nesta mesma temática. Esse texto foi traduzido e publicado no Brasil pela CPRM/ABGE/ABMS (Macedo & Bressani, 2013).

A presente pesquisa está sendo desenvolvida a partir dos procedimentos e premissas deste Manual para o Zoneamento de Susceptibilidade de Perigo e Risco do Comitê Técnico Internacional para Deslizamentos (JTC-1) inseridos no programa “Construindo Nosso Mapa Municipal Visto do Espaço”, realizado pelo Grupo de Geoprocessamento do MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) / INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) / CRN (Centro Regional do Nordeste), podendo ser consultado no link: <http://geopro.crn.inpe.br/resumo3.htm> (Projeto Mapas Municipais Geoambientais). Nesta linha de trabalho, procura-se integrar estudos relacionados às alterações geomorfológicas,

provocadas pelas diferentes formas de ocupação do relevo, configurando-se na formação de depósitos tecnogênicos. Consistiu de trabalhos de escritório, de campo e de laboratório e recursos computacionais para o armazenamento e tratamento dos dados de investigação que compreendem recursos de geoprocessamento. Estes recursos poderão agilizar e viabilizar as atividades de levantamento, análise, finalização e posteriores atualizações das informações espaciais (Souza, 1994).

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A execução deste estudo consistiu de uma caracterização geológico-geotécnica e de um reconhecimento das águas subterrâneas, em escala de semi-detalle 1:25.000, de uma área costeira de aproximadamente 62 km², compreendendo parte do Município de Natal-RN, cujo objetivo principal foi a elaboração de mapas e cartas visando um melhor entendimento e o fornecimento de subsídios para a gestão ambiental.

A execução do trabalho compreendeu cinco etapas descritas a seguir:

A) Levantamento e aquisição de informações pré-existentes e produtos de sensoriamento remoto - Consistiu no levantamento de informações disponíveis da área a ser estudada, abrangendo as folhas planialtimétricas na escala 1:10.000 que foram utilizadas como bases cartográficas, aquisição das fotografias aéreas em escala 1:8.000, perfis de sondagens SPT, perfis litológicos de poços de captação de água subterrânea (cedidos por uma empresa pública e por uma privada), além de inúmeros trabalhos e artigos que englobam a geologia, geografia, geotecnia e recursos hídricos da região.

B) Fotointerpretação e estudo de perfis de poços e de sondagens geotécnicas - Consistiu na interpretação de 88 fotografias aéreas datadas de 1978 em escala 1:8.000, com a confecção dos



mapas seguintes: drenagem, lineamentos de relevo e zonas homólogas; e no estudo de 111 relatórios referentes a serviços geotécnicos para obras de construção civil, que perfaz um total de 433 perfis de sondagens SPT cedidos pela empresa privada, onde foram delimitados diferentes horizontes geológicos e suas espessuras.

Interpretou-se, da mesma forma, 89 perfis de poços de captação de águas subterrâneas, sendo 69 perfis cedidos pela empresa pública e 20 cedidos pela empresa privada, assim como 74 sondagens geotécnicas (compreendendo 25 relatórios referentes a serviços geotécnicos para obras de construção civil) que atingiram o nível d'água, executados junto a empresa privada, onde foram delimitados os diferentes horizontes geológicos, suas espessuras e nível d'água, para um melhor conhecimento do comportamento das unidades geológicas e hidrogeológicas em sub-superfície.

A localização dos poços tubulares e sondagens geotécnicas, que atingiram o nível d'água, com latitudes/longitudes e altitudes efetivou-se a partir de bases planialtimétricas na escala 1:2.000. Essa localização teve como finalidade obter informações sobre a distribuição espacial desses dados na área estudada, bem como ter subsídios para definir a cota da boca do poço ou sondagem, que serviu para obtenção da cota do nível d'água.

C) Trabalhos de Campo - Compreendeu a descrição detalhada de diversos locais ao longo da área, objetivando as definições das unidades litológicas, suas relações de contato e atributos estratigráficos/ geomorfológicos/ estruturais, como também aspectos do uso e cobertura do solo, cadastro de fontes potenciais de poluição dos recursos hídricos, lagoas de águas pluviais e pontos de inundação; envolvendo ainda medição de juntas, falhas, determinação das espessuras dos materiais, registro fotográfico, coleta de amostras, perfis e croquis esquemáticos, e, por último, a definição de pontos de ensaios de campo.

Acompanhou-se a execução de sondagens geotécnicas e perfuração de poços tubulares construídos pela empresa privada, que serviram para coleta “*in loco*” de importantes informações pertinentes ao tipo litológico, projeto técnico-construtivo de poço e parâmetros hidrogeológicos.

D) Ensaios de laboratório e campo - Compreendeu os ensaios de caracterização, realizados em amostras coletadas na área de estudo, consistindo de granulometria por peneiramento e sedimentação, limite de liquidez, limite de plasticidade e densidade real dos grãos; e ensaios de campo (infiltração/permeabilidade em solos).

E) Confecção de mapas e cartas e elaboração do texto final - Nesta etapa utilizou-se o SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), com funções de processamento de imagens, análise espacial e modelagem numérica de terreno, e consulta a bancos de dados espaciais, Câmara et al. (1996); com a edição em seguida, para a elaboração do *layout* final em Arcview, que permite a criação de cartas de alta qualidade gráfica.

A espacialização dos dados de cota do nível d'água (poços tubulares e sondagens geotécnicas) por ocasião de sua análise, foi realizada em ambiente de geoprocessamento com técnicas de redes de triângulos irregulares (TIN) e, quando possível, por geoestatística.

2.1 Área do Estudo Proposto

A área objeto da presente pesquisa consiste de aproximadamente 62 km², constituindo um polígono (Figuras 1 e 2), cujos extremos são limitados pelo retângulo envolvente com latitudes 9.350.071km N e 9.360.429km N e longitudes 250.821km E e 259.214km E. Os acessos aos principais afloramentos são principalmente pela rodovia denominada “Via Costeira”.

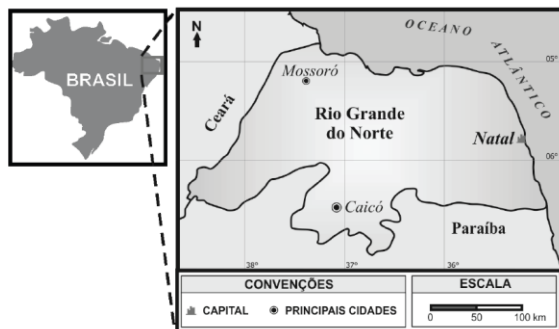


Figura 1. Mapa de Localização do Município de Natal-RN.

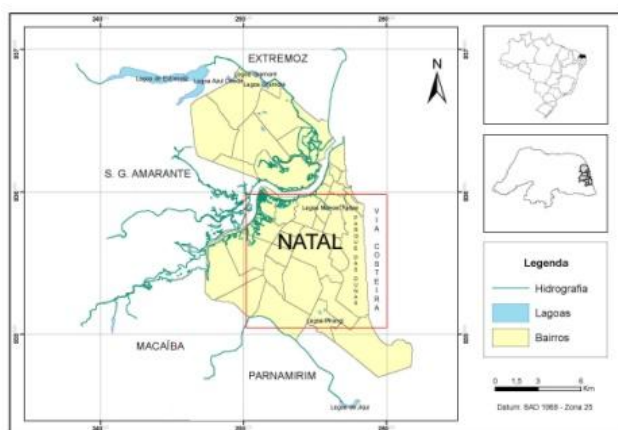


Figura 2. Localização aproximada da área de estudo destacada no retângulo.

2.2 Geologia Regional

A área de mapeamento está inserida na faixa sedimentar costeira oriental do Estado do Rio Grande do Norte, no contexto da sub-bacia Natal, pertencente à Bacia Pernambuco-Paraíba e Potiguar (Barbosa, 2004) (Figura 3). Na região adjacente à área de estudo, o embasamento cristalino é constituído por três terrenos distintos denominados, de norte para sul, de Terreno São José do Campestre, Terreno Alto Pajeú e Terreno Alto Moxotó (Santos, 1996). Esses terrenos são delimitados por grandes lineamentos e zonas de cisalhamento com direção predominantemente leste-oeste. Provavelmente, essas estruturas estendem-se sob a Formação Barreiras e sob os sedimentos cretáceos e paleogênicos das Bacias

Pernambuco-Paraíba e Potiguar, adentrando pela margem continental adjacente.

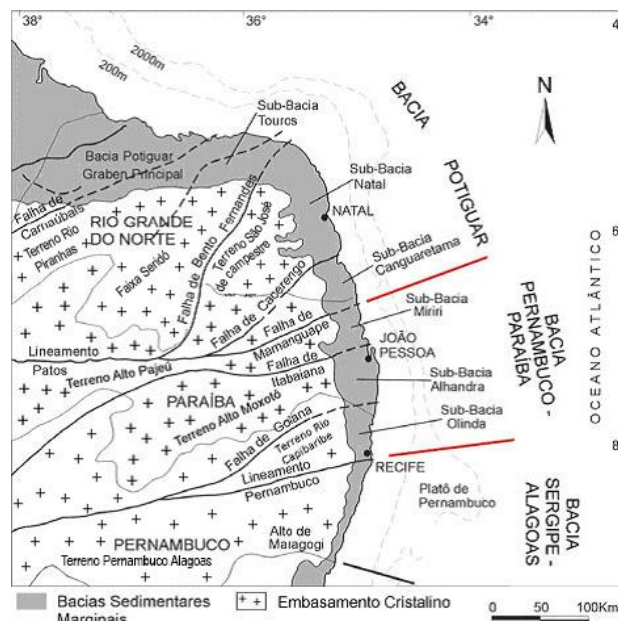


Figura 3 – Localização das Bacias Sedimentares Costeiras Pernambuco-Paraíba e Potiguar e sua divisão em sub-bacias. Modificado de Barbosa (2004).

2.3 Geologia Local

No que diz respeito aos aspectos geológicos, a área objeto de estudo constitui-se de nove unidades, sendo oito aflorantes e uma de idade mesozoica, detectada apenas em perfis de poços de captação de águas subterrâneas, representada por arenitos calcíferos e calcáreos, correlatos à Formação Guamaré da Bacia Potiguar. A unidade aflorante mais antiga consiste dos sedimentos da Formação Barreiras, seguido dos sedimentos da Formação Potengi e “Beachrocks”. Completando a estratigrafia da área (Tabela 1), têm-se os sedimentos de mangues e aluvionares, as areias de dunas descaracterizadas, dunas fixas e móveis, e os sedimentos praias; este último juntamente com os “beach-rocks” não são mapeáveis na escala do presente estudo (Figura 4).

A Formação Potengi, na região de Natal, caracteriza-se por uma fácies arenítica, de granulometria mal selecionada, de cor



avermelhada, e caracteriza-se por apresentar materiais residuais com pouca argila devido à lixiviação intensa (Moreira, 1996).

Tabela 1. Coluna estratigráfica proposta para a área mapeada. Modificada (Duarte, 1995).

ERA	PERÍODO	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS
CENOZOICA	QUATERNÁRIO	Sedimentos de mangue - Sedimentos praias - Dunas móveis
		Arenitos praias ("Beach rocks") - Dunas fixas - Dunas arrasadas
		Sedimentos aluvionares
	TERCIÁRIO	Formação Potengi
		Formação Barreiras
MESOZOICA	CRETÁCEO	Formação Guamaré

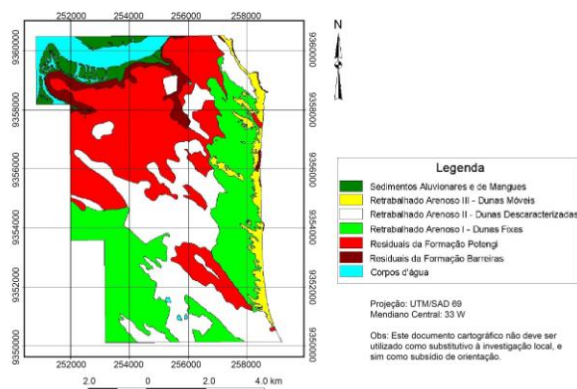


Figura 4. Mapa de Materiais Inconsolidados.

Os sedimentos de mangues são encontrados ao longo da planície de inundação do rio Potengi e consistem de areias finas argilosas e localmente argilas de cor cinza clara; observa-se ainda a presença de grande quantidade de bioclastos recentes. Sob esses sedimentos verificou-se a ocorrência de sedimentos aluvionares de coloração acinzentado a esbranquiçado, de granulometria areia fina a média.

As dunas descaracterizadas compreendem áreas testemunhos de antigas dunas, que foram parcialmente destruídas por atividades de terraplanagem com fins de ocupação urbana. São caracterizadas por areias finas a médias

amareladas, cremes, avermelhadas, localmente acinzentadas a marrom, quartzosas, com minerais máficos.

As dunas fixas são depósitos eólicos com cobertura vegetal, distribuindo-se numa faixa paralela ao litoral, apresentando direção predominante SE-NW; consistem de areias quartzosas de coloração amarelada e branca com boa seleção granulométrica entre areia média e fina.

As dunas móveis, compreendem os depósitos provenientes da ação eólica nos sedimentos praias, caracterizados por areias quartzosas bem selecionadas, brancas, amareladas a cremes, localmente acinzentada a marrom (devido à matéria orgânica), granulometria média a fina, sendo evidenciado que localmente e superficialmente ocorrem grãos de tamanho de areia grossa e grânulos.

3 ENSAIOS DE PERMEABILIDADE NOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS DO MUNICÍPIO NATAL – RN

No contexto da área estudada, a Formação Barreiras é caracterizada pela diversidade em tipos litológicos, os quais foram agrupados em três tipos de materiais residuais, que foram mapeados ao longo do perfil estratigráfico, resultando desta forma uma variabilidade de produtos de alteração: os residuais da fácies arenosa (RB1), residuais da fácies areno-conglomerática (RB2) e residuais da fácies areno-argilosa (RB3), onde a fácies ferruginosa compreende rochas sãs sem alteração.

Os residuais da fácies arenosa (RB1) compreendem solos arenosos, de granulometria média e coloração variada (predomina o branco), com grãos essencialmente quartzosos.

Os residuais da fácies areno-conglomerática (RB2) compreendem solos arenosos, de granulometria predominantemente fina e coloração variegada, com concreções



ferruginosas de tamanhos variados desde granulometria média até seixos.

Os residuais da fácies areno-argilosa (RB3) consistem de um solo areno-argiloso a argilo-arenoso de coloração esbranquiçada, gradando para amarelada até acinzentada a marrom no topo, com grânulos e seixos essencialmente de quartzo distribuídos aleatoriamente.

Realizou-se junto a empresa privada ensaios de permeabilidade (infiltração) “*in situ*” em três pontos de exposição desses materiais (RB3): lagoa de acumulação/infiltração rua Jaguarari, Candelária; lagoa de acumulação/infiltração Av. Gustavo Guedes, Cidade Jardim e; lagoa de Infiltração na rua Francisco M. Costa, Capim Macio.

No primeiro ponto, o Coeficiente de permeabilidade “*in situ*” apresentou $K = 4 \times 10^{-6}$ cm/s, sendo o solo descrito como uma areia fina, muito argilosa, fina com o tubo cravado a 5 metros de profundidade.

No segundo ponto, foram executados dois furos de sondagem à percussão e realizou-se dois ensaios de permeabilidade “*in-situ*” apresentando ambos $K = 3 \times 10^{-5}$ cm/s, sendo o solo descrito como uma areia fina, muito siltosa, cinza clara. O ensaio foi efetuado com o tubo cravado a 5 metros de profundidade.

No terceiro ponto, executou-se 3 furos de sondagem à percussão e foram realizados três ensaios de infiltração “*in-situ*” apresentando $K = 6 \times 10^{-6}$ cm/s, $K = 2 \times 10^{-6}$ cm/s e $K = 2 \times 10^{-6}$ cm/s, sendo, no primeiro caso, o solo descrito como uma areia fina, muito siltosa, cinza clara; no segundo caso, uma areia fina, silto-argilosa, cinza amarelada e, no terceiro caso uma areia fina, silto-argilosa, marrom amarelada. Nos dois primeiros furos o tubo foi cravado a 2 metros de profundidade e no terceiro furo a 5 metros de profundidade.

Duarte (1995), estima a espessura da Formação Barreiras, a partir dos vários poços perfurados, em um intervalo de 45 a 60 metros e

sugere um sistema fluvial para a deposição desta unidade devido aos seus aspectos texturais e à geometria dos corpos. Pereira (1999) atribui a essa formação um sistema deposicional do tipo entrelaçado, onde os níveis arenosos são atribuídos aos canais e os níveis argilosos às planícies de inundação; e cita que, mineralogicamente, são constituídos por quartzo, plagioclásio, opacos e minerais pesados.

A Formação Potengi compreendem areias finas a médias quartzosas com grânulos de quartzo e minerais pesados, onde feldspatos são raros, a coloração é avermelhada a amarelada e creme passando a acinzentada a marrom em direção ao topo, onde se apresentam com pouca quantidade de finos. Segundo Duarte (1995), o ambiente de deposição desta Formação seria um sistema fluvial, onde se identifica planície de inundação para a fácies arenítica, que pode ter recebido contribuições eólicas, devido ao aumento da fração de areia média a fina em direção ao topo, além do fato de que essa formação só é observada próxima ao litoral.

Efetuuou-se junto a empresa privada, ensaios de permeabilidade (infiltração) “*in-situ*” na lagoa de acumulação/infiltração Av. Prof. Olavo Montenegro, Cidade Jardim. Foram executados dois furos de sondagem à percussão e realizaram-se dois ensaios, com o coeficiente de permeabilidade calculado em $K = 1 \times 10^{-4}$ cm/s. O solo foi descrito como uma areia fina e média, argilosa, vermelha e o tubo cravado a 3 metros de profundidade.

4 DISPONIBILIDADE E POTENCIALIDADE DAS ÁGUAS

O Aquífero Barreiras constitui o principal reservatório de água subterrânea do litoral leste do Estado do Rio Grande do Norte. Em Natal, maior consumidor, 70% do abastecimento público procedem hoje de suas águas captadas



através de poços tubulares da empresa pública e particulares.

Os teores de nitrato nos pontos identificados em Natal são superiores ao limite estabelecido pela Organização Mundial de Saúde – OMS, que é de 45 mg/l (Ministério da Saúde, 2000), fazendo com que a empresa pública desative os poços contaminados e execute outros para a manutenção do nível de abastecimento.

No Município de Natal existem três (03) sistemas aquíferos, Moreira (2002), assim distribuídos, da base para o topo: o primeiro formado por arenitos com cimento carbonático (“arenitos calcíferos”), geralmente compactos, que constituem o Aquífero Infra-Barreiras; o segundo, constituído por clásticos continentais, com granulometria e cores variáveis pertencentes à Formação Barreiras, caracterizando o Aquífero Barreiras e, por fim, uma sequência arenosa pertencente à Formação Potengi sendo capeada por areias quartzosas, de granulometria fina e de origem eólica (Dunas) que formam o Aquífero Dunas-Potengi.

O Aquífero Infra-Barreiras, não foi objeto de estudos mais significativos, em virtude de apresentar uma baixa capacidade de produção e da grande potencialidade hídrica que possui o Aquífero Barreiras.

No caso do sistema Dunas-Potengi/Barreiras, os dados do único teste de aquífero disponível na área de Lagoa Nova (ACQUA-PLAN 1988), apontam para comportamento de aquífero semi-confinado, em função da rápida estabilização dos níveis dinâmicos de bombeamento, como reflexo de elevada taxa de recarga por filtração vertical (drenança) através de nível semi-confinante de alta condutividade hidráulica. Por outro lado, a evidente estabilização dos níveis potenciométricos dos poços públicos ao longo de toda a área de exploração em Natal, apesar das crescentes descargas produzidas entre os anos de 1975 a 1998 (Hidroservice 1998), reflete seguramente uma condição de regime quase permanente em função das transferências verticais de infiltrações pluviométricas

estimadas em 500 mm/ano ou o equivalente a $0,500\text{hm}^3/\text{ano}/\text{km}^2$ (Hidroservice 1998). Essa última afirmação, porém, é corroborada com a má construção dos poços públicos, que favorecem essa condição de regime quase permanente. Na fase de construção é quando ocorre um dos problemas mais frequentes em Natal. Como não existe o dimensionamento correto dos filtros e da proteção sanitária da obra, o “poço” passa a funcionar como condutor direto e eficiente das águas mais superficiais, quase sempre poluídas, para os níveis freáticos mais profundos. A Figura 5 apresenta a representação esquemática de um poço com cimentação insuficiente e de um poço cuja cimentação seria o desejável.

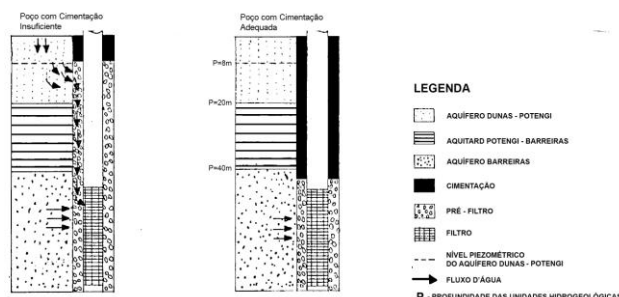


Figura 5 – Representação esquemática de poços no aquífero livre Dunas Potengi e semi-confinado Barreiras.

Por sua vez, a condição de aquífero totalmente confinado para o sistema Barreiras em Natal, parece totalmente descartada, não apenas pelo condicionamento litológico da sequência sedimentar, evidenciado pelos dados de dezenas de poços perfurados na área, como também pela resposta potenciométrica acima referida, com relação à elevada taxa histórica de exploração do manancial, indicando um regime quase permanente.

Na hipótese de que o sistema Dunas-Potengi/Barreiras funcione como um aquífero do tipo livre, com condutividades hidráulicas, horizontal e vertical similares, a Hidroservice (1998) fez uma estimativa da posição inicial e do avanço da interface Salina e o resultado obtido sugere que o sistema não funciona



hidrodinamicamente como aquífero do tipo livre, uma vez que a penetração da cunha salina no continente seria da ordem de 500 metros, em consequência dos bombeamentos ocorridos a partir de 1975. Nessas condições, os poços existentes próximos da linha de costa já teriam sido contaminados, aspecto este ainda não observado, seja de forma restrita ou extensiva na região de Natal.

A condição admitida como mais provável, segundo o relatório da Hidroservice (1998) é a de um aquífero semi-confinado com elevada capacidade de filtração vertical (drenança) de importantes volumes anuais de água, infiltrados nos níveis mais superiores da sequência sedimentar, formados pelas dunas e sedimentos arenosos, posicionados acima do horizonte semi-confinante. Este condicionamento poderia, em princípio, explicar um maior afastamento da cunha com relação à linha de costa, em função do fluxo natural de um aquífero com mergulho para o mar e dos fluxos descendentes procedentes de recarga por filtração vertical.

4.1 Carta Geotécnica de Suscetibilidade e Risco Potencial de Deslizamentos e Inundações

Na elaboração da Carta Geotécnica de Suscetibilidade e Risco Potencial, onde neste último se caracteriza a susceptibilidade juntamente com a vulnerabilidade pela presença do elemento em risco seja em termos de vidas humanas e infraestruturas (Figura 6). Note-se que para a elaboração de carta de risco é necessária à análise integrada dos processos do meio físico com aspectos de uso e ocupação do solo. E o risco só existe onde há ocupação do solo, o termo potencial foi associado ao termo risco pelo fato da avaliação de risco ter sido qualitativa e não quantitativa como estabelecido pelo JTC-1. Desta forma avaliaram-se: tipo de material inconsolidado, características do substrato geológico, características geomorfológicas, profundidade do nível d'água do aquífero Dunas-Potengi e Barreiras,

existência de habitações precárias, presença de esgotos domésticos, estrutura de drenagem de águas pluviais e Carta de Declividade, onde se constata que boa parte da área de Natal apresenta Risco Potencial a Inundações médio e alto.

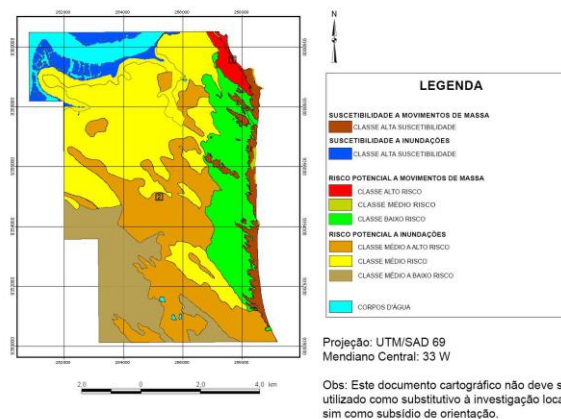


Figura 6. Carta Geotécnica de Suscetibilidade e Risco Potencial a Deslizamentos e Inundações. Notar Área 1, que corresponde à localização da Figura 7a, 7b e 7c, e a área 2, que corresponde à localização da Figura 7d.

Destacam-se com menor Risco Potencial a Movimentos de Massa o setor leste (depósitos de dunas fixas – “Baixo Risco Potencial”) (Figura 6), correspondendo aos depósitos de dunas fixas que se encontram recobertos naturalmente por vegetação, chegando a atingirem cerca de 120m de altitude.

Os materiais residuais da Formação Potengi, com valores de Coeficiente de Permeabilidade da ordem de 10^{-4} cm/s; e da Formação Barreiras/fácies arenosa (RB1), fácies areno-conglomerática (RB2) e fácies areno-argilosa (RB3), esta última com valores do Coeficiente de Permeabilidade variando de 10^{-5} a 10^{-6} cm/s; com declividades maiores que 8%, onde são encontrados com elevado grau de coesão e consolidação e alta porcentagem de finos, são classificados como “Médio Risco Potencial a Movimentos de Massa”.

Na área “Alto Risco Potencial a Movimentos de Massa”, correspondente às dunas descaracterizadas ocupadas por Habitações



Precárias, que distribuem-se numa faixa paralela ao litoral na Região de Mãe Luiza, apresentam declividades em termos percentuais variando de 3 a 8% e maior que 20% (Figuras 7a, 7b e 7c).



Figura 7. Precipitação anômala de chuvas (13/06/2014). (a e b) Estragos provocados pela chuva em Mãe Luiza. (c) Fluxo de lama e detritos bloqueando a Av. Via Costeira. Classe Alto Risco Potencial a Movimentos Gravitacionais de Massa. (d) Inundações no entorno do Arena das Dunas, (estádio multiuso que recebeu quatro partidas da Copa do Mundo FIFA de 2014, com arquitetura inspirada nas dunas do Rio Grande do Norte). Classe Médio a Alto Risco Potencial a Inundações.

Destacam-se com menor Risco Potencial a Inundações, o Setor Sudoeste (San Vale – “Médio a Baixo Risco Potencial”).

No geral o Risco Potencial a Inundações nas áreas de tabuleiros (“Médio Risco Potencial”), com espessuras da zona não saturada da ordem de 8 a 15 metros (Figura 6), aumenta no sentido das Dunas Descaracterizadas (“Médio a Alto Risco Potencial”, Figura 7d). Nas depressões, cujas cotas são inferiores a 30 metros, as espessuras da zona não saturada são da ordem de 3 a 8 metros. Quanto mais próxima da superfície do terreno está à superfície freática, tanto maior é o Risco Potencial a Inundações.

5 CONCLUSÕES

A análise dos perfis de sondagens geotécnicas e de poços da empresa privada e também nas baterias de poços públicos constatou-se a presença de uma sequência de níveis de argilas. Desta forma, na área foram definidos dois sistemas de aquíferos: Dunas-Potengi (Livre) e Barreiras, sob condições de semi-confinamento. Sugere-se a infiltração das águas pluviais nos próprios lotes, possibilitando a redução de vazões de pico a valores compatíveis com os encontrados antes da urbanização.

Os ensaios de permeabilidade (infiltração) “*in situ*” realizados nos materiais residuais das Formações Potengi e Barreiras/fácies areno-argilosa (RB3), corroboram o caráter de semi-confinamento do aquífero Barreiras, mostrando a presença de níveis de menor permeabilidade ao longo do perfil. Os resultados apresentados na Carta Geotécnica sintetiza um suporte técnico para o planejamento das ações governamentais de controle e proteção da população e infraestruturas urbanas e dos recursos naturais, na medida em que identifica áreas mais susceptíveis e que não devem ser ocupadas para não se tornarem áreas de risco bem como mostra o atual panorama do risco potencial de movimento gravitacional de massa



e inundação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng. Civil Rogério de Pinho (GEPÊ ENGENHARIA LTDA), que colocou a disposição o acervo das fichas técnicas dos Perfis de Sondagens Geotécnicas e Litológicas de Poços. Agradecemos também, pela dedicação dos diversos profissionais da iniciativa pública e privada, que direta ou indiretamente auxiliaram na materialização dos resultados ora alcançados.

REFERÊNCIAS

- ACQUA-PLAN (1988). *Avaliação das possibilidades de infiltração de efluentes domésticos no aquífero Dunas na área de Natal-RN*. Estudos, Projetos e Consultoria, Recife-PE. 121p.
- Barbosa, J. A. (2004) *Evolução da Bacia Paraíba durante o maastrichtiano-paleoceno – Formações Gramame e Maria Farinha*, NE do Brasil. Dissertação Mestrado, Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE, Recife.
- Câmara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M. & Garrido, J. C. P. (1996) *SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling*. Computers & Graphics, v.20, n.3, p.395-403.
- Duarte, M. I. de M. (1995) *Mapeamento Geológico e Geofísico do Litoral Leste do RN: Grande Natal (Área 1)*. Rel. Grad, UFRN-DG. (Inédito).
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. & Savage, B. (2008) *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning*. Engineering Geology 102, pp. 85-98. Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat.
- HIDROSERVICE. (1998) *Análise do comportamento da cunha salina*. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte /SERHID-RN, Plano Estadual de Recursos Hídricos. Natal/RN. 23 p.
- Macedo, E. S. De, Bressani, L. A. (Coords.) (2013) *Diretrizes para o zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamentos para planejamento do uso do solo*. São Paulo: ABGE, 88 p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. (2007) *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura – organizadores, Brasília - DF.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (2000) *Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano*. Portaria Nº 1469, de 29 de dezembro. Republicada no Diário Oficial Nº 38-E de 22/02/2001, Seção 1, pág. 39, Brasília-DF.
- Moreira, M. M. (1996) *Mapeamento Geotécnico do Município de Natal-RN e Áreas Adjacentes*, Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-028A/96, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 148p.
- Moreira, M.M. (2002) *Mapeamento Geotécnico e Reconhecimento dos Recursos Hídricos e do Saneamento da Área Urbana do Município de Natal-RN: Subsídios para o Plano Diretor*, Tese de Doutorado, Publicação G.TD-11A/2002, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 282 p.
- Pereira, L. B. F. (1999). *Mapeamento geológico, estratigrafia Cenozoica e estruturação neotectônica da região costeira entre Ponta Negra e Redinha e estuário do rio Potengi, Natal-RN*. Relatório de Graduação, Depto. de Geologia, UFRN, Natal-RN. 82p.
- Santos, E. J. (1996) *Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema*, In: SBG, Con. Bras. Geol., 39, Salvador, Anais, 6:47- 50.
- Souza, N. M. (1994) *Contribuição à cartografia geotécnica com uso de geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas*, Tese de Doutorado, EESC/USP, São Carlos - SP. 2 V., 189p.