



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
MESTRADO EM GEOTECNIA

NELCI RONES PEREIRA DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA CALCÁRIA DE JOÃO PESSOA/PB E SUA
APLICAÇÃO EM OBRAS GEOTÉCNICAS DE PEQUENO PORTE

FORTALEZA

2015

NELCI RONES PEREIRA DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA CALCÁRIA DE JOÃO PESSOA/PB E SUA
APLICAÇÃO EM OBRAS GEOTÉCNICAS DE PEQUENO PORTE

Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Professor Dr. Anderson Borghetti Soares

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- S697c Sousa, Nelci Rones Pereira de.
Caracterização da rocha calcária de João Pessoa/PB e sua aplicação em obras geotécnicas de pequeno porte / Nelci Rones Pereira de Sousa. – 2015.
173 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Fortaleza, 2015.
Área de Concentração: Geotecnia.
Orientação: Prof. Dr. Anderson Borghetti Soares.
1. Geotecnia. 2. Fundações. 3. Concreto. 4. Agregados. 5. Calcário. I. Título.

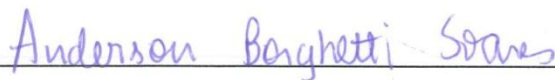
NELCI RONES PEREIRA DE SOUSA

CARACTERIZAÇÃO DA ROCHA CALCÁRIA DE JOÃO PESSOA/PB E SUA
APLICAÇÃO EM OBRAS GEOTÉCNICAS DE PEQUENO PORTE

Dissertação apresentada ao Departamento de
Engenharia Hidráulica e Ambiental da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
à obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Civil, Área de concentração: Geotecnia.

Aprovada em: 30/04/2015

BANCA EXAMINADORA



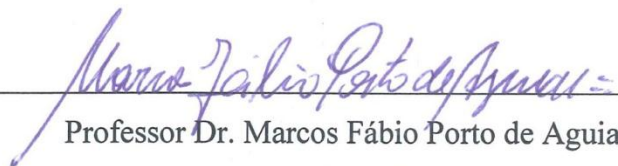
Professor Dr. Anderson Borghetti Soares (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Professor Dr. Alfran Sampaio Moura

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Professor Dr. Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal do Ceará (IFCE)

AGRADECIMENTOS

Ao Supremo Arquiteto do Universo, em primeiro lugar, a quem recorro permanentemente para amparo e inspiração.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pelo apoio financeiro através de Bolsa de Estudo que viabilizou a possibilidade de frequentar o curso em tempo integral.

Ao professor Dr. Anderson Borghetti Soares que prestou orientação necessária à consumação do curso.

Aos professores Dr. Alfran Sampaio Moura e Marcos Fábio Porto Aguiar, que participaram da Banca Examinadora e ofereceram contribuições consideráveis a este trabalho.

Aos Laboratórios: LABEME - Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas, pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB); LTNM-IDEP - Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais, do Instituto UFPB de Desenvolvimento do Estado da Paraíba, da Universidade Federal da Paraíba (UFPB); e LAMEV - Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC).

As Srs. Dr. Lanusse Salim Rocha Tuma, Dra. Vanessa Cartaxo Soares e Dr. Magno Erasto de Araújo que gentilmente forneceram seus trabalhos científicos de Tese de Doutorado para subsidiar e complementar este trabalho.

Aos meus colegas de Mestrado Yan Carlos Chiu Rodriguez, Carla Beatriz Costa, Mariana Vela Silveira, Helano Wilson Pimentel e Alex Duarte de Oliveira que muito ajudaram nos momentos de dificuldades e incentivaram a permanecer firme no propósito de atingir o objetivo.

RESUMO

O calcário é um tipo de rocha abundante no Estado da Paraíba, fato que favorece a sua utilização como agregado em concretos para construção civil. A sua extração econômica, a disponibilidade, facilidade de extração e baixos custos de transportes, redundam em estímulo ao seu uso em grande escala como agregado em elemento estrutural de fundações em edificações de pequeno porte. A rocha calcária, contudo, apresenta uma constituição básica de elementos de origem sedimentar, sendo solúvel em água, com a possibilidade da ocorrência de problemas de subsidência em regiões de lençol freático pouco profundo ou em locais com alto teor de umidade. Em face da probabilidade da existência de riscos, tanto no seu uso em elementos de fundações, como da perspectiva da existência de dolinas no subsolo, devido a presença de maciços dessa rocha onde normalmente são implantados edifícios com fundações profundas, o presente trabalho procurou caracterizar a rocha calcária da zona metropolitana de João Pessoa, objetivando aquilatar se ela é adequada ao uso como agregado de concreto, utilizado em fundações superficiais. Inicialmente foi preciso fazer um estudo mais profundo dos fenômenos cársticos em que esse tipo de rocha está sujeito, consultando a literatura sobre as incidências da espécie e suas ocorrências nas diversas regiões do Brasil e principalmente na área sob estudo. Foi necessário ainda realizar ensaios com o material extraído da rocha, visando descobrir as suas propriedades físicas e químicas principais e se elas guardam compatibilidade com o uso na Construção Civil. Foi realizado um levantamento da litografia do subsolo da área da Grande João Pessoa, buscando identificar o volume, a abrangência e a profundidade da camada calcária subterrânea existente nas regiões de avanço populacional da cidade, a partir de dados obtidos na literatura, que mostraram a presença de uma camada de calcário da Formação Gramame em todo o subsolo do sítio da Grande João Pessoa, sotoposta à Formação Barreira. A fragilidade da rocha calcária foi confirmada através dos ensaios realizados de caracterização da rocha, tais como: massa específica real e aparente; absorção de água; teste de abrasão Los Angeles; compressão simples e análises físicas; ensaios de campos de análise de fundações antigas; microscopia eletrônica de varredura; e difração de raio X, sugerindo que o material não possa ser usado como agregado para a maioria das aplicações na Construção Civil. Entretanto, como os resultados dos ensaios de campo com fundações existentes não apresentaram problemas, a princípio não se constata dificuldades no seu uso como agregados em fundações superficiais que demandam baixos níveis de tensão.

Palavras-chave: Rochas. Calcário. Fundações. Concreto. Agregados.

ABSTRACT

Limestone is a very abundant type of rock in the Brazilian state of Paraíba, which leads to its use as an aggregate in civil construction. Cheapness of extraction, owing to availability, ease of extraction and low transport costs stimulate its large-scale use as concrete aggregate in the structural element in small buildings' foundations. But limestone's basic constitution is elements of sedimentary origin, being water soluble, carrying the possibility of subsidence problems in regions with shallow water tables or with high humidity. Two likelihoods of risks are seen: the use of limestone as an element in foundations; and the prospect of the existence of sinkholes in the subsoil of the state's capital and largest city, João Pessoa, where limestone beds occur where buildings with deep foundations are implanted. This study objective to characterize the limestone of João Pessoa metropolitan zone, in order to judge whether it is suitable for use as concrete aggregate in shallow foundations. Initially it was necessary to do a deeper study of karst phenomena to which this type of rock is subject, referring to the literature on incidents of this type and their occurrence in different regions of Brazil and in the area under study, and to carry out tests with the limestone material in order to discover its main physical and chemical properties, and if they are compatible with its use in civil construction. A research the lithography of the subsoil of the Greater João Pessoa area in order to identify the volume, breadth and depth of underground limestone layers existing in the regions to which the city's population is advancing, based on surveys from the literature, it was found that there a limestone layer of the Gramame Formation is found in the subsoil, underlying the Barreira Formation. The fragility of the limestone was confirmed by tests performed to characterize the rock, such as: real and apparent density; water absorption; Los Angeles abrasion test; simple compression and physical analyses; field trials analyzing old foundations; scanning electron microscopy; and X-ray diffraction. Suggesting that the material not be can used as an aggregate for most applications in civil construction. However, as the results of field trials with existing foundations had no problems, at first moment, it's not found difficulties in its use as aggregate in shallow foundations that require low voltage levels.

Keyword: Rocks. Limestones. Foundations. Concrete. Aggregate.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Relevância do Trabalho	14
1.2	Objetivo do Trabalho	16
1.3	Metodologia do Trabalho	19
1.4	Estrutura do Trabalho	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Rochas Calcárias	19
2.2	Formação das Cavernas	23
2.3	Subsidências e Colapsos	24
2.3.1	Influências das Rochas Calcárias na ocorrência das subsidências	25
2.3.2	Histórico de Subsidências e Colapsos	27
2.3.3	Ocorrências de Subsidências e Colapsos na Área de Estudo	31
2.4	Materiais de Rochas Calcárias na Construção Civil	34
2.5	Fenômenos Cársticos e os riscos para a Construção Civil	36
2.6	Fundações	40
2.6.1	Fundação superficial	40
2.6.1.1	Sapata	41
2.6.1.2	Bloco	41
2.6.1.3	Radier	41
2.6.1.4	Sapata associada (ou radier parcial)	41
2.6.1.5	Viga de fundação	41
2.6.1.6	Sapata corrida	41
2.6.2	Fundações Profundas	42
2.6.2.1	Estacas	42
2.6.2.1.1	Estaca cravada por percussão	42
2.6.2.1.2	Estaca escavada, com injeção	42
2.6.2.1.3	Estaca tipo broca	42
2.6.2.1.4	Caixões	43
2.6.2.1.5	Estaca apiloada	43
2.6.2.1.6	Estaca tipo Strauss	43
2.6.2.1.7	Estaca escavada	43
2.6.2.1.8	Estaca tipo Franki	43

2.6.2.1.9	Estaca Mista	43
2.6.2.1.10	Estaca Hélice Contínua	44
2.6.2.2	Tubulão	44
2.6.2.3	Caixão	44
2.7	Materiais Alternativos Utilizados em Fundações Superficiais	44
2.8	Caracterização da Rocha Calcária	47
2.9	Microscopia Eletrônica por Varredura	48
2.10	Difração de Raio X (DRX e FRX)	50
2.11	Abrasão Los Angeles	50
2.12	Investigações Geotécnicas	51
2.12.1	Métodos de investigação	53
2.12.1.1	Ensaio Geofísicos	54
2.12.1.2	Ensaio de Laboratório	54
2.12.1.3	Ensaio de Campo	55
2.12.1.3.1	Trado	56
2.12.1.3.2	Sondagens de simples reconhecimento (standard penetration test – SPT)	56
2.12.1.3.3	Ensaio de penetração do CPT e CPTU	57
2.12.1.3.4	Ensaio de Penetração do Minicone (MCPT)	59
2.12.1.3.5	Sondagens Geotécnicas tipo DMT (Dilatômetro de Marchetti)	60
2.12.1.3.6	Ensaio Pressiométrico (PMT – Pressiômetro de Ménard)	61
2.12.1.3.7	Ensaio de palheta (Vane Test)	62
2.12.1.3.8	Sondagem rotativa	64
3	LEVANTAMENTOS EFETUADOS NA ÁREA DE ESTUDO	65
3.1	Levantamento Geológico e Geotécnico	68
3.1.1	Grupo Paraíba	71
3.1.1.1	Formação Beberibe	74
3.1.1.2	Formação Gramame	74
3.1.1.3	Formação Maria Farinha	77
3.1.1.4	Formação Barreira	78
3.2	Trabalhos de Campo	79
3.2.1	Mapa de Documentação	86
3.2.2	Mapa de Substrato Rochoso	88

3.2.3	Mapa de Aptidão Para Materiais de Construção	91
3.2.4	Mapa de Bacias Hidrográficas e Lençol Freático	93
4	ENSAIOS REALIZADOS	103
4.1	Ensaio Físicos	103
4.1.1	Ensaio de Caracterização	103
4.1.1.1	Comentários	105
4.1.2	Teste de Abrasão Los Angeles	106
4.1.2.1	Resultado	107
4.1.2.2	Comentários	107
4.1.3	Ensaio de Compressão Simples	107
4.1.3.1	Extração dos Corpos de Provas	108
4.1.3.2	Procedimentos dos Ensaio	111
4.1.3.3	Resultados	114
4.1.3.4	Comentários	115
4.2	Ensaio de Campo	121
4.2.1	Locais Visitados	122
4.2.2	Método Utilizado	124
4.2.3	Comentários	126
4.3	Ensaio Químicos	127
4.3.1	Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)	128
4.3.1.1	Análise da Amostra da Jazida	128
4.3.1.2	Análise de Amostras Retiradas de Fundações	129
4.3.2	Difração de Raio X	130
4.3.3	Comentários	131
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	135
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
	ANEXO A	152
	ANEXO B	153
	ANEXO C	154
	ANEXO D	155
	ANEXO E	156
	ANEXO F	159
	ANEXO G	173

1 INTRODUÇÃO

A construção civil hoje no Brasil é absolutamente dependente de rochas para seus processos construtivos, seja como agregados, como ornamentos, como matéria prima de produtos industrializados ou outros usos correntes. É comum verificar nas rotinas das construções o manuseio de algum material originário das mais diversas espécies de rochas existentes nas regiões em que são implantados os empreendimentos. Esta dependência de produtos originários de rochas ainda deve perdurar por longo tempo, pois não se vislumbram muitas pesquisas que visem substituição por materiais de outras origens. Apenas como agregado de concretos, o volume de rochas extraídas de jazidas provoca excessiva destruição de boa parte da crosta terrestre (OLIVEIRA, 2001). A engenharia tem especial interesse pelas rochas graníticas, basálticas e gnaisses por apresentar grau de boa resistência, tanto às corrosões químicas (SANDRINI; CARANASSIOS, 2007), quanto aos esforços internos, constituindo em aliadas da economia nas obras da construção civil.

Estas rochas, entretanto, por se tratar de produto de peso específico elevado, tem alto custo de transporte, inviabilizando a utilização em determinadas regiões do país, onde há carência de jazidas nas quantidades e qualidades que torne exequível a sua extração. Os construtores, seja por falta melhores conhecimentos ou por adaptação de tecnologia, utilizam outros tipos de rochas que, na maioria das vezes, não possuem estudos detalhados que garanta a sua utilização como material de construção.

O Estado da Paraíba está encaixado neste contexto, mormente pela exiguidade de reservas de rochas com características graníticas, mas, por outro lado, dispõe de enormes reservas minerais de materiais calcários, constituindo em um dos maiores produtores de mármores do país. A extração extremamente econômica, em face da abundância, conveniência na extração e baixos dispêndios na remoção constitui em incentivo ao uso do calcário em grande escala como elemento estrutural de fundações de edificações de pequeno porte.

A rocha calcária apresenta, contudo, uma constituição básica de elementos de origem sedimentar, com facilidade de ser dissolvida na água, sugerindo a probabilidade da ocorrência de problemas de dissolução em regiões onde o lençol freático não é muito profundo ou em locais onde o solo, por motivos variados, apresenta-se com índice de umidade elevada.

Nas análises sobre trabalhos desenvolvidos na área de estudo, quer sejam de caráter histórico, urbanístico ou geográfico, foi observado que a preocupação principal com as

rochas calcárias restringe-se apenas à sua utilização como recursos naturais importantes na conservação ambiental e como matéria-prima fundamental para a construção da cidade. Assim sendo, constata-se que inexistem estudos sobre riscos e consequências do uso de calcários para a evolução urbanística da cidade. Assim, estudo sobre as singularidades da natureza geológica, geomorfológica desse tipo de rocha, bem como a sua distribuição fisiológica no sítio que foi escolhido para a implantação da cidade, constitui tema ainda por investigar.

Segundo Moura (2013) “O litoral paraibano repousa sobre imensa jazida de calcário”. Mesmo sem conclusões sobre a adequabilidade do seu uso, exatamente no estado da Paraíba, e também em outras partes da região nordeste, a rocha calcária é muito utilizada para fundações superficiais em construções de pequeno porte. Também a implantação de edifícios verticais de alturas consideráveis, os quais demandam fundações profundas de grandes dimensões, não leva em conta a existência de camada subterrânea de calcário totalmente sujeita a dissolução e formações de dolinas ao longo do tempo.

As rochas calcárias são utilizadas na forma de concreto ciclópico ou fundo de rocha argamassada, como é conhecido em algumas aplicações, que nada mais é do que a incorporação de rochas denominadas “rochas de mão” ou “matacão” ao concreto pronto. Estas rochas normalmente não fazem parte da dosagem do concreto e por diversos motivos, não são colocadas dentro das betoneiras, mas diretamente no local onde o concreto é aplicado. A rocha de mão é um material de granulometria variável, com comprimentos entre 10 e 40 cm e peso médio superior a 5 kg por exemplar, conforme a Figura 1.1.

Figura 1.1 – Exemplo de rochas utilizadas em concreto ciclópico

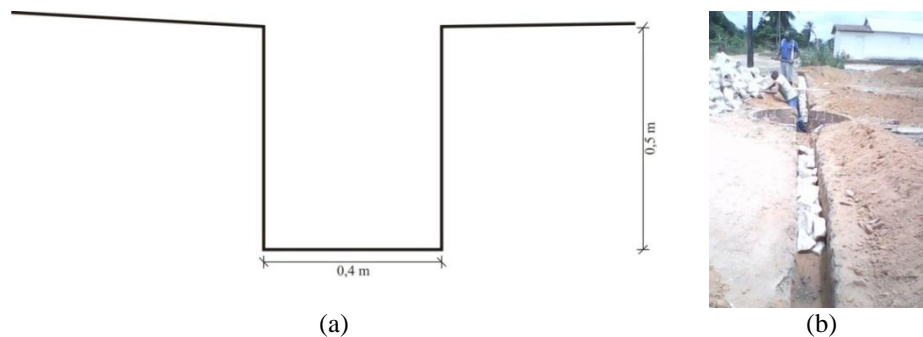


Fonte: Autor

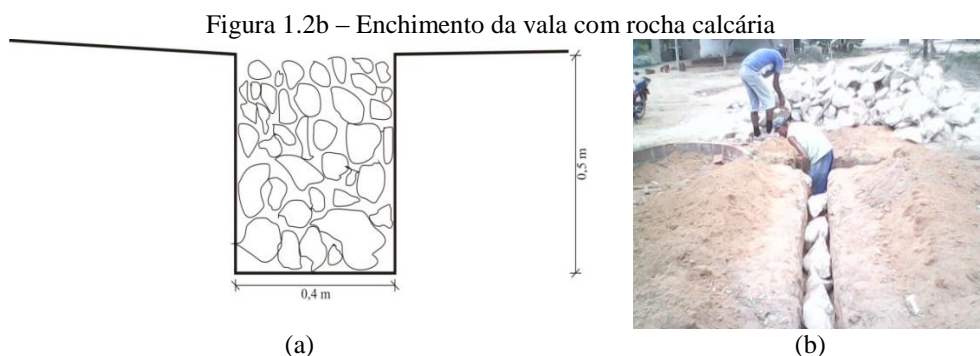
Quando rochas são utilizadas como agregado em concreto, necessitam ser originárias de maciços de mesmo padrão de qualidade de dureza e durabilidade das britas de

origem granítica, devendo ser limpas e isentas de incrustações nocivas à aplicação, e, para o concreto ciclópico, deve-se também observar os controles tecnológicos e mesmos critérios para os concretos convencionais e as proporções entre concreto e rochas de mão. Mas, até agora, segundo a pesquisa bibliográfica realizada, não havia sido identificado nenhum estudo sobre a qualidade dessas rochas para o uso nas condições aqui descritas. Através de pesquisas feitas diretamente nas diversas obras de pequeno porte em andamento, constatou-se que a técnica construtiva para o uso dessa rocha é bastante diferenciada das técnicas costumeiras e padrões da Engenharia Civil, conforme é mostrado nas Figuras 1.2a a 1.2d, cujas fotos foram tiradas de uma obra em andamento no distrito de Nova Vida, Município de Pitimbu/PB. O procedimento construtivo foi verificado no próprio local de implantação da construção e consiste na abertura de valas, com medida aproximada de 0,4 m de largura por 0,5 m de profundidade, onde são lançadas as rochas isoladamente, depois de serem quebradas a marretadas, para atingir o tamanho de aproximadamente 20 cm de diâmetro. Posteriormente, preenche-se os seus espaços vazios com uma mistura de areia e cimento, na proporção de 1:8 (cimento:areia), usando jatos de água para percolação da mistura via gravidade.

Figura 1.2a – Escavação de uma vala

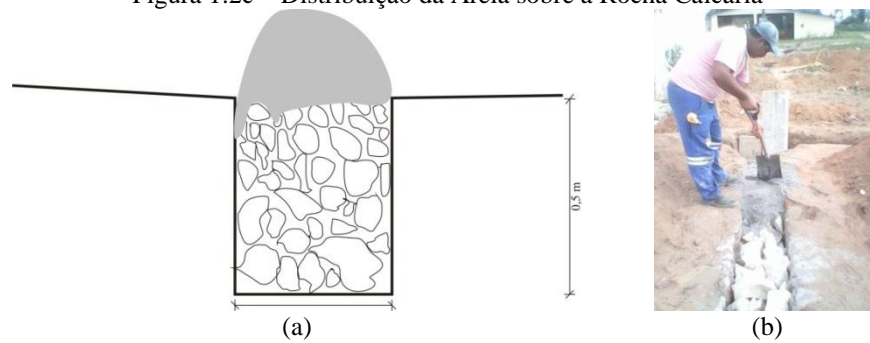


Fonte: Autor. a) corte vertical e dimensões da vala; b) foto da vala aberta



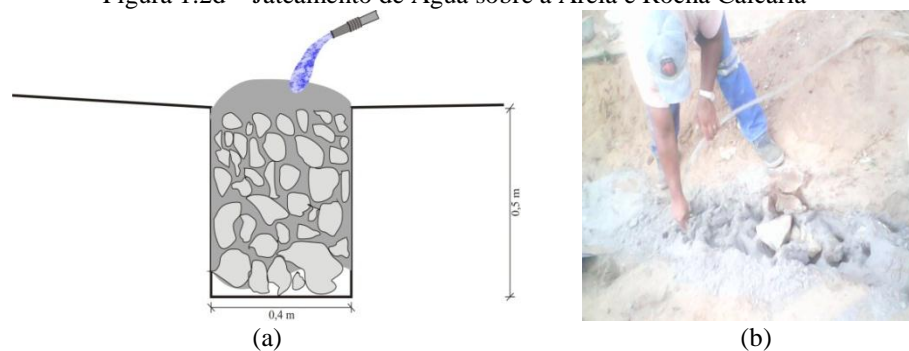
Fonte: Autor. a) corte vertical da vala cheia; b) foto da vala com a rocha

Figura 1.2c – Distribuição da Areia sobre a Rocha Calcária



Fonte: Autor. a) corte vertical da vala com areia; b) foto da distribuição de areia

Figura 1.2d – Jateamento de Água sobre a Areia e Rocha Calcária



Fonte: Autor. a) corte vertical da fundação pronta; b) foto do jateamento de água

1.1 Relevância do trabalho

Paraíba é possuidora de um dos maiores conjuntos de jazidas de rocha calcária do País. **De acordo com Paraíba Total (2012), O Estado** é o segundo maior produtor de cimento do Nordeste. O clínquer que produz o cimento Portland tem como matéria prima o calcário. Grandes jazidas de calcário sedimentar que ocorrem na faixa litorânea incentivam a implantação de indústrias cimenteiras na região costeira do Estado da Paraíba.

Existem atualmente duas grandes fábricas em operação e outras cinco estão em estágio avançado de implantação. Como pode ser verificado pelos mapas geológicos do Brasil e da Paraíba mostrados nas Figuras 1.3a e 1.3b, na região litorânea da Paraíba, mais especificamente nos municípios de João pessoa, Conde, Caaporã e Alhandra, encontram-se grandes reservas de calcário calcítico de origem sedimentar da Formação Gramame, pertencente à Bacia Sedimentar Pernambuco Paraíba. É a presença dessas jazidas de rocha calcária que viabiliza tecnicamente a implantação de fábricas de cimento no nordeste. Atualmente elas produzem dois milhões de toneladas/ano de cimento.

Este atrativo gera a disposição de investimentos por grupos cimenteiros tradicionais do país que, aliado ao decisivo interesse do Governo do Estado em fornecer infraestrutura e incentivos fiscais, cria a perspectiva de implantação nos próximos anos de mais cinco fábricas (uma em Alhandra/PB, uma em Caaporã/PB, uma em Pitimbu/PB e duas no Conde/PB), além da já anunciada ampliação de uma cimenteira em funcionamento na cidade de Caaporã/PB. Depois de concluídos esses empreendimentos, o Estado da Paraíba deverá alcançar a liderança no nordeste na produção de cimento. Conforme Ramos (2013) em menos de dez anos poderão ser implantadas na zona leste do estado mais de quinze fábricas de cimento. Não se pode descurar ainda da existência de jazidas de calcário metamórfico que fornecem a matéria prima para a fabricação de cal (calcário calcítico) e para uso na calagem de solo para agricultura (calcário magnésiano).

O Brasil figura entre os quatro maiores mercados de cimento no mundo. De acordo com o SNIC (2013), o consumo brasileiro alcançou 71 milhões de toneladas em 2013, o que mostra um aumento de 2,4 % em relação ao ano anterior. O bom desempenho energético e ambiental da indústria brasileira de cimento é internacionalmente reconhecido, principalmente pela baixa emissão de gases de efeito estufa, sobretudo se comparada a países como Estados Unidos e Japão (RAMOS, 2013). A Paraíba está se preparando há já algum tempo para fazer parte da expansão da produção de cimento, com a instalação de mais indústrias para ampliação do seu polo cimenteiro. A fábrica da Brennan Cimentos é o início desse projeto, que inclui ainda fábricas da Climpor, Lafarge, Votorantin e Elizabeth, as quais devem colocar a Paraíba em segundo lugar no posto de maior produtor de cimento do país, com previsão de produção de 10 milhões de toneladas de cimento por ano, devendo ficar atrás apenas de Minas Gerais, cuja produção anual é de 14 milhões de toneladas de cimento.

A Brennan Cimentos já deve ser inaugurada no segundo semestre de 2015, em Pitimbu, de acordo com Ramos (2013),

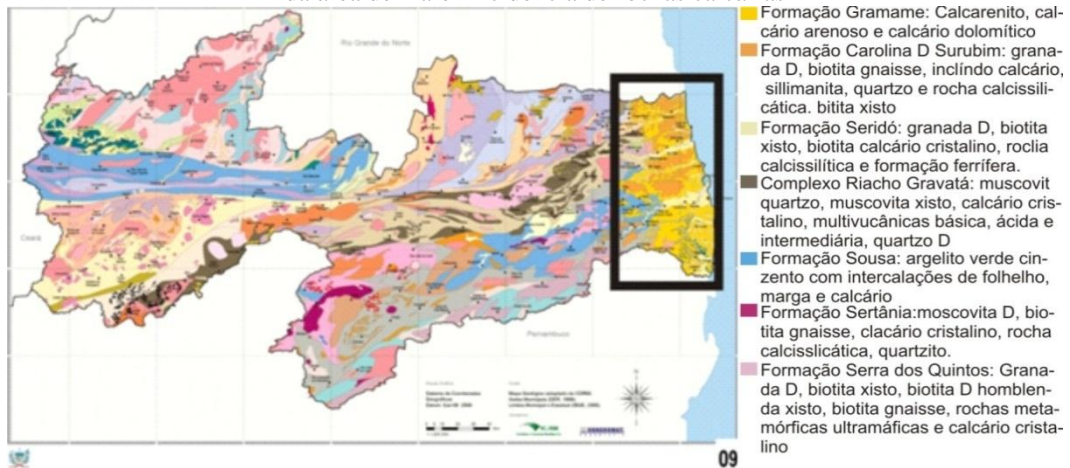
“O que nos motivou a ir para a Paraíba, além do crescimento que o Estado apresenta, foi a possibilidade de encontrar e desenvolver jazidas de calcário, primordial na produção do cimento. É um aproveitamento de oportunidade e disposição política do Estado da Paraíba em aproveitar as ocorrências de calcário, principal matéria-prima para fabricação de cimento. Além do crescimento que o estado apresenta. Com investimento inicial de R\$ 600 milhões, nossa previsão é de iniciar operação em 2014. Na mina serão gerados 45 empregos diretos e 800 indiretos, e na fábrica serão 200 postos de trabalho direto e 600 indiretos. Durante o pico da obra, com previsão de dois anos, serão gerados 1.800 empregos diretos”.

Figura 1.3a – Mapa geológico do Brasil destacando o Estado da Paraíba



Fonte: CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Recife(PE)

Figura 1.3b – Mapa geológico da Paraíba com destaque da área de maior incidência de rochas calcárias



Fonte: AESA/SECTMA-Gov. Estado da Paraíba

Este volume de jazidas contribui no barateamento de extração e transporte do produto, favorecendo na viabilidade econômica na sua utilização. Isto facilita para que construtores a utilizem a rocha calcária bruta como material de construção, sobretudo em fundações de pequenas construções, sem avaliar a sua capacidade de suporte e de adequação para uso nas condições em que de fato é empregado, justificando assim a necessidade de desenvolvimento de estudos que mostrem a qualidade desses materiais.

1.2 Objetivo do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar a rocha calcária existente em toda a região metropolitana da grande João Pessoa, extraída para atender a construção civil, objetivando aquilatar o seu grau de adequabilidade ao uso como agregado de concreto em fundações superficiais, como suporte para fundações e em obras geotécnicas em geral. Avaliará, com isso, a possibilidade da existência de problemas na durabilidade dessas rochas quando expostas à presença constante ou eventual de água.

Objetiva ainda verificar a adequação da rocha calcária no uso da técnica descrita para a execução de fundações superficiais - muito utilizadas em campo no estado da Paraíba - e, na ausência de estudos mais aprofundados sobre o assunto, se os imóveis construídos com este tipo de fundação não poderão ter problemas no futuro. Analisará ainda se existe a necessidade de soluções ou adaptações mais apropriadas para o uso dessas rochas calcárias nesta etapa importante das construções.

Para subsidiar essa tarefa, delinea fazer a revisão bibliográfica sobre dados básicos da constituição da rocha calcária, características geológicas e hidrológicas da área, visando detectar a formação do seu substrato para detecção da presença de rochas calcárias e nível freático que venham a servir de suporte para cálculo de fundações, bem como as suas influências e riscos sobre empreendimentos implantados, tendo presente a probabilidade da ocorrência de subsidências e colapsos nas áreas constituídas pelo subsolo da área abrangida pela cidade de João Pessoa e sua zona metropolitana.

Pretende ainda utilizar de consultas a levantamentos topomorfológicos e aspectos topográfico-geológicos da área, com o objetivo gerar mapeamentos que visem alertar para o efeito dos materiais nelas contidos, tenham ainda propósito de se apreender o comportamento da estrutura geológica e fisiologia do meio físico local e, como uma das principais necessidades da construção civil, antecipando as investigações geotécnicas, eles possam redirecionar comportamentos que aprimorem os trabalhos das investigações necessárias, ampliando a sua extensão ou dando maior versatilidade aos resultados que delas se esperam. A partir do conhecimento das características genéticas dos materiais existentes, da estrutura, formato e fisiologia, explicam-se as singularidades da escolha das formas construtivas que melhor se adequem ao assentamento da cidade, notadamente no sentido do entendimento da topomorfolgia, da grande quantidade de ressurgências e da presença de rocha calcária, com a sua importância para o setor da construção civil na região estudada.

1.3 Metodologia do Trabalho

O trabalho consiste da execução das seguintes etapas: ensaios tecnológicos nas rochas calcárias de densidade real dos grãos, ensaios de massa específica aparente e seca, ensaios de absorção de água, testes de abrasão, e investigações mineralógicas, através de microscopia eletrônica (MEV) e difração de raio X, ensaios químicos e experimentos destinados a observar a reação dos componentes calcários com a água; ensaios periódicos de compressão simples, para observar o efeito da saturação sobre os corpos de prova durante o prazo de 270 dias. Para isto serão extraídos 28 corpos de prova, tipos testemunhos, retirados de maciços rochosos usados em minas em operação na região da Grande João Pessoa, que serão mergulhados em água para serem utilizados da seguinte forma: 4 corpos serão rompidos depois de secados à temperatura ambiente por 24 horas; Em 90 dias, serão retirados da água 8 corpos de prova, sendo 4 corpos para serem rompidos após secagem em 24 horas e os outros 4 para serem rompidos após 180 dias de secagem. Em 180 dias serão retirados mais 8 corpos de prova, sendo 4 para serem rompidos após 24 horas de secagem, e os outros 4 para serem rompidos após 90 dias de secagem. Em 270 dias seriam retirados da água os últimos 8 corpos de prova para serem, após 24 horas de secagem ao ar livre, rompidos para avaliar a resistência. Serão rompidos ainda com 270 dias os 8 corpos de prova que foram retirados da água com 90 e 180 dias, e ficariam secando também por 90 e 180 dias, para verificação da possível recuperação da resistência após terem sido afetados pela presença da água. Todos os corpos imediatamente antes do rompimento deveriam ser medidos e pesados para análise da sua situação física em cada época; investigação “in loco” das fundações efetuadas pelos métodos usuais ao longo do tempo, visando a diagnosticar os problemas ocorridos. Pretende-se analisar fundações com idade de construção de 5, 10, 15, 20, 25 e com mais 30 anos, implantadas em locais úmidos, com a medição da altura do lençol freático e avaliando o estado de degeneração em que se encontram; fazer revisão bibliográfica sobre o assunto, a fim de se determinar as diretrizes dos ensaios a serem efetuados e forma de apuração dos resultados que se pretende encontrar, bem com dirigir a pesquisa para assuntos ainda não abordados por outros autores; realizar levantamento topomorfológico e do perfil geológico da área da Grande João Pessoa, visando identificar as principais fontes de calcário e sua distribuição no subsolo da região estudada, para análise dos riscos proporcionados às fundações profundas implantadas.

Para melhor desenvolvimento das atividades, far-se-á registro desses trabalhos com fotos e recolhimento de amostras dos materiais encontrados para análises das substâncias

decompostas, buscando analisar os resultados e compilação das informações para avaliação dos métodos apropriados para a utilização do referido material. Finalmente emitirá as conclusões obtidas da análise dos resultados e fará sugestões sobre o uso correto do material trabalhado e da forma adequada de uso das estruturas dos elementos de fundação, em face dos materiais existentes no subsolo da área estudada.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho foi estruturado, além deste capítulo, em mais quatro, sendo: no capítulo dois, faz-se a revisão bibliográfica dos assuntos que envolvem o trabalho; no capítulo três, levanta-se os aspectos litológicos da área para verificar os riscos da implantação de fundações; no capítulo quatro, promove-se o desenvolvimento dos ensaios e a análise dos resultados do trabalho obtidos; e no capítulo cinco, apresenta-se a conclusão do trabalho com as recomendações julgadas cabíveis.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

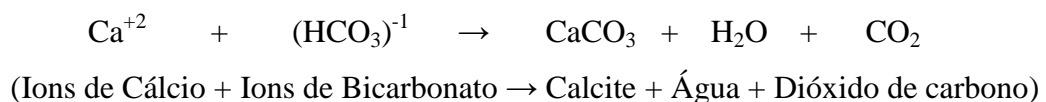
Para melhor avaliação dos temas a serem abordados neste trabalho é necessário primeiramente revisar o que autores, pesquisadores e profissionais das áreas acadêmicas e da construção civil falam sobre o assunto, visando, sobretudo, levantar aspectos que sejam relevantes para esclarecimento dos assuntos estudado.

2.1. Rochas Calcárias

Calcário vem do latim “calx”, que possui o genitivo calicis, ou calcariun (cal). Originário de Cretáceo, relativo a *Creta*, que vem do latim “giz” (calcário), encontrados em terrenos dotados desse período. Por volta de 90% do calcário encontrado no planeta tem origem orgânica, mas também podem existir calcários de origem inorgânica (MÉLO, 2014).

Gabardo (2011) mostra que os calcários pertencem ao grupo de rochas sedimentares e possui acima de 30% de carbonato de cálcio na sua estrutura mineral, a exemplo da aragonita e a calcita. Podem ainda ter como mineral predominante a dolomita ($\text{CaMg}\{\text{CO}_3\}_2$ ou $(\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3)$, quando é conhecido como calcário dolomítico.

Os calcários, geralmente, formam-se a partir do acúmulo de organismos inferiores, com as cianobactérias, por exemplo, ou ainda a precipitação de carbonato de cálcio, que ocorrem principalmente em meio marinho, na forma de bicarbonatos, mas que também podem ser localizados em rios, lagos e no subsolo, dentro de cavernas (SANTOS; SILVA, 2014). Pode ainda ser constituídos por deposição de esqueletos, conchas e carapaças de animais aquáticos ricos em carbonato de cálcio ou por depósito de sais de cálcio em água. Entretanto, os calcários quimiogênicos, compreendendo aqueles formados por ação de substâncias químicas precipitadas e dissolvidas numa solução aquosa, é formado basicamente no meio marinho: o carbonato de cálcio (CaCO_3), conhecido como “calcite”, forma-se através de sedimentos químicos, nomeadamente íons de cálcio e bicarbonato (FARIAS; PINTO, 2005):



Em decorrência de fortes ondulações marinhas, a elevação da temperatura ou ainda à diminuição da pressão, os meios marinhos podem sofrer perdas de dióxido de carbono (CO_2). Assim, a necessidade de reposição dos níveis de dióxido de carbono que se perdeu, a ocorre a reação química da equação, começado a evoluir no sentido de formar CO_2 , levando como consequência a formação de calcite e a sua precipitação que posteriormente, depois de uma deposição e da alteração ocorrida durante e após a liquidação, denominada diagênese, obtém-se o calcário.

O Carbonato de Cálcio (CaCO_3) é um mineral inorgânico quimicamente inerte com características alcalinas (MATEUS, 2011). É bastante abundante, que corresponde a cerca de 4% da crosta terrestre, e representa o composto inorgânico mais importante do ciclo do carbono, pois é através do processo de carbonatação natural, o CaCO_3 é o mineral que mais imobiliza o CO_2 lançado na atmosfera. Este mineral é tido como o responsável por manter constante o pH das águas naturais. É muito utilizado na indústria de cimentos, de papel e de tintas.

A aragonita, com formulação química igual a da calcita, ocorre apenas em sedimentos carbonatados recentes, junto com a calcita e com a dolomita subordinada. Sendo metaestável, a aragonita altera-se com o tempo para calcita, que é sua polimorfa (SOUSA; VIDAL, 2005).

Os calcários podem ser de forma simplificada divididos em oito grupos:

- a) margas: quando possui uma quantidade de argila entre 35 e 50%;
- b) caliche: calcário rico em carbonato de cálcio formado em ambientes semiáridos;
- c) tufo: calcário esponjoso encontrado em águas de fonte devido à precipitação do carbonato de cálcio associado com matéria orgânica resultante da decomposição de vegetais;
- d) conquífero: formado pela acumulação de esqueletos e conchas;
- e) giz: calcário poroso de coloração branca formado pela precipitação de carbonato de cálcio com microorganismos;
- f) travertino: são calcários densos encontrados em grutas e cavernas composta por calcite, aragonite e limonite;
- g) dolomite: um mineral de Carbonato de cálcio e magnésio;
- h) recifal: é um calcário de edificação que resulta da fixação de carbonato de cálcio por seres vivos, nomeadamente os corais.

O calcário é a rocha carbonática mais abundante. Conforme a granulometria recebe um nome específico, conforme Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Rochas carbonáticas

NOME	TAMANHO (mm)
CALCIRUDITO	> 2
CALCARENITO	2 - 0,062
CALCISILTITO	0,062 - 0,0039
CALCILUTITO	< 0,0039

Fonte: Fog (2004)

Os nomes granulométricos das rochas carbonáticas são adaptados dos nomes granulométricos das rochas terrígenas, mas não possuem o mesmo significado ambiental. Existe outras classificações que combinam um nome granulométrico (Tabela 2.1) com a razão espato (cristalina-lamelar)/micrita (microestrutura). Exemplo uma rocha com 30 % de bioclastos, 40 % de oncolitos e 30 % de espato recebe o nome de calcário espático oncolítico bioclástico.

As Dolomitas são rochas constituídas por dolomita [$\text{CaMg}(\text{CaCO}_3)$]. Em geral, resultam da substituição da calcita pela dolomita ou precipitação direta da água do mar devido a evaporação. Quando os calcários se transformam em dolomita, ocorre aumento da porosidade, porque os cristais de dolomita são mais densos e menores que os cristais de calcita.

Os principais usos do calcário são:

- a) produção de cimento Portland;
- b) produção de cal (CaO);
- c) correção do pH do solo para a agricultura;
- e) fundente em metalurgia;
- f) fabricação de vidro;
- g) como rocha ornamental; e
- h) adubação química.

As rochas carbonatadas possuem dois tipos de elementos: os aloquímicos e os ortoquímicos. Os aloquímicos são elementos figurados identificáveis ao microscópio óptico fundamentais nas rochas carbonatadas. Eles são de natureza carbonatada, quimiogênica ou bioquimiogênica, têm comportamento semelhante aos sedimentos siliciclásticos, sendo formados no interior da bacia. Eles podem ainda ser:

- a) bioclastos: partes esqueléticas de vários tipos de invertebrados ou de algas, bem como esqueletos inteiros de indivíduos de pequenas dimensões;
- b) oólitos: corpos esferoidais ou elipsoidais geralmente de tamanho inferior a 1 mm. Quando maiores chamam-se pisólitos;
- c) pelóides: são corpos carbonatados com tamanhos entre os 0,03 mm e os 0,15 mm. São elipsoidais, esferoidais ou irregulares, sem qualquer arranjo textural interno; e
- d) intraclastos: são litoclastos carbonatados intrabacinais, removidos e transportados para o local onde integraram o sedimento ou a rocha onde os encontramos.

Os elementos aloquímicos sofrem transporte e abrasão (arredondamento) por correntes marítimas, seleção de calibres e redeposição, tal como acontece em sedimentos detríticos terrígenos.

Os sedimentos ortoquímicos resultam da precipitação do carbonato de cálcio no próprio local onde se encontra o sedimento ou a rocha que integram. Podem ser de dois tipos:

- a) micrite: corresponde ao calcário de textura afanítica, de aspecto baço, translúcido a acastanhado, cujos os grãos não ultrapassam o diâmetro de 0,004 mm. (calcário fundamentalmente formado por micrite: micrito); e
- b) esparrite: corresponde ao calcário translúcido com mais de 0,004 mm. (fundamentalmente esparrite: esparrito).

A micrite durante o processo de recristalização pode evoluir para esparrite.

As rochas possuem elevada porosidade que é extremamente variável. Por exemplo, em rochas sedimentares a porosidade geralmente decresce com a idade geológica e com a profundidade, quando outros fatores são mantidos constantes. Alguns exemplos são:

- a) Rochas sedimentares : $0 < n < 90\%$ (calcários: $n > 50\%$; arenitos: $n = 15\%$); e
- b) Rochas ígneas e metamórficas: $n < 2\%$ (sã) e entre 20 e 50% (intemperizadas).

As principais impurezas que contém o calcário são as sílicas, argilas, fosfatos, carbonato de magnésio, gipso, glauconita, fluorita, óxidos de ferro e magnésio, sulfetos, siderita, sulfato de ferro dolomita e matéria orgânica entre outros.

2.2 Formação das cavernas

São muito conhecidos os efeitos da água provoca nas rochas calcárias, sendo bastante notados quando se observa as inúmeras cavernas existentes no interior de diversas montanhas espalhadas pelo planeta.

Embora nas zonas costeiras possam ocorrer em outros tipos de rochas, as cavernas (Figura 2.1) formam-se acentuadamente em áreas de rochas calcárias. As rochas calcárias são formadas por carbonato de cálcio (CaCO_3), também conhecido como calcita, que dissolvem-se quando entram em contato com a água que contém suficiente teor de ácidos provenientes da chuva ácida ou do dióxido de carbono (CO_2) existente na atmosfera e na decomposição da matéria orgânica. Estes ácidos quando em contato com a água formam o ácido carbônico, H_2CO_3 .

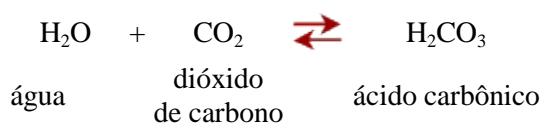
Figura 2.1 – Caverna formada dentro de um maciço de rocha calcária



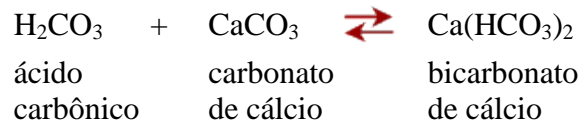
Foto: Carlos Zaith (Gruta São Mateus II- Goiás)

Num segundo momento, a água ácida penetrando pelas fendas do calcário ataca a rocha, produzindo o bicarbonato de cálcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ que é solúvel e facilmente transportado pela água. Com a dissolução do bicarbonato de cálcio, as fendas vão-se alargando lentamente e formando as cavernas. Isso pode ser escrito através das equações químicas

a) acidulação da água (formação do ácido carbônico):



b) dissolução da rocha pelo ácido carbônico:



2.3 Subsidiências e Colapsos

O processo de subsidência corresponde ao movimento, relativamente lento, de afundamento de terrenos, devido à deformação ou deslocamento de direção essencialmente vertical descendente. O colapso apresenta a mesma definição, porém apresenta-se como um movimento brusco do terreno (INFANTI JR; FORNASARI FILHO, 1998).

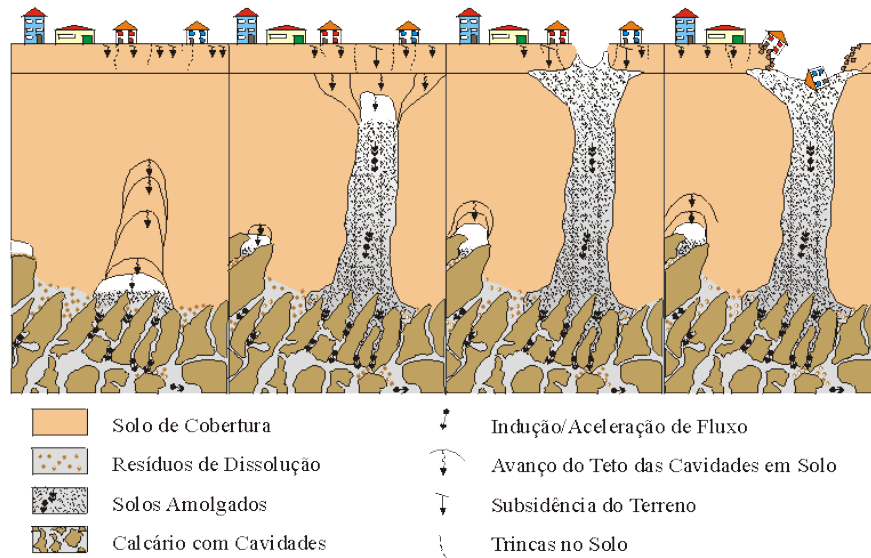
Os colapsos de terrenos são considerados os principais causadores de acidentes sérios em regiões cársticas, ocasionando mortes de pessoas que são vítimas de desaparecimento súbito, tragadas pelo afundamento. A subsidência também causa prejuízos econômicos e mortes pelo desmoronamento total ou parcial de construções (NAKAZAWA; PRANDINI; DINIZ, 1995).

Os processos de subsidência podem ser divididos em 2 tipos, considerando suas causas, que são (INFANTI JR; FORNASARI FILHO, 1998):

- a) processos naturais: são causados principalmente pela dissolução de rochas (carstificação) como calcários, dolomitos, gipsita e sal; pela acomodação de camadas no substrato, devido ao seu peso ou a deslocamentos segundo planos de falhas; e
- b) processos acelerados: são ocasionados pelo bombeamento de águas subterrâneas, por recalques por acréscimo de peso devido a obras e estruturas e por galerias de mineração subterrâneas, principalmente em minas de carvão.

O processo que mais ocasionam problemas de subsidência é o da carstificação, que é a dissolução de rochas por águas subterrâneas e superficiais, formando cavernas, dolinas, etc. A ação antrópica pode modificar esse processo de dissolução, através da alteração das propriedades físico-químicas das águas (acidificação) ou pela interferência na dinâmica das águas subterrâneas através do seu bombeamento (INFANTI JR; FORNASARI FILHO, 1998). A Figura 2.2 a seguir esquematiza o modelo interpretativo dos fenômenos.

Figura 2.2 – Ilustração da ocorrência de subsidência



Fonte: Infanti Jr e Fornasari Filho (1998). A figura apresenta a evolução quadro a quadro do processo de subsidência com a infiltração da água atingindo a camada calcária e o solo adjacente sendo desprendido para o fundo da cavidade e ampliando a verticalmente até atingir a superfície.

2.3.1 Influências das Rochas Calcárias na ocorrência das subsidências

As rochas calcárias são rochas carbonáticas, formando então os calcários calcíferos, mais ricos em carbonato de cálcio, e os calcários dolomíticos, mais ricos em carbonato de magnésio (SANTOS, 2008). As águas de chuva levemente acidificadas, ao encontrar um maciço calcário fraturado, penetram por essas discontinuidades e vão lentamente, através do tempo geológico, dissolvendo a rocha e produzindo vazios que podem evoluir para grandes fendas, cavernas e canais por onde fluem as águas interiores.

Os relevos geológicos com características de corrosão química de rochas, que mostra uma superfície de características físicas diferenciadas ou irregulares, tais como cavernas, dolinas, vales secos, vales cegos, cones cársticos, rios subterrâneos, canhões flúviocársticos (cânion), paredões rochosos expostos e lapiás (erosões em rochas) são denominados de relevos cársticos ou simplesmente “carsts” (GILBERT; DANIELPOL; STANFORD, 1994). O relevo cárstico é predominante em terrenos formados com a presença de muitas rochas de origem calcária, podendo também ocorrer em outros tipos de rochas carbonáticas, como o mármore e rochas dolomíticas.

O principal fenômeno cárstico de interesse da engenharia é o afundamento, brusco ou lento, de terrenos (SANTOS, 2008). Esses afundamentos, que podem destruir por completo edificações de superfície, colocando em risco patrimônios e vidas humanas, são

decorrentes do colapso de um teto de caverna (que pode estar a dezenas de metros de profundidade) ou da contínua migração de solo para o interior de fendas ou cavernas subterrâneas, o que, com o tempo, vai também determinar um afundamento em superfície. Em boa parte do território brasileiro, por decorrência de seu clima tropical úmido, as rochas calcárias cársticas estão cobertas por uma camada de solos de espessura variada, os chamados carsts cobertos, o que torna muito comum o abatimento decorrente da migração de solo para o interior de fendas e cavernas.

Quase sempre a aceleração de um processo de afundamento de terreno em regiões cársticas está associada a algum tipo de interferência humana no lençol freático, especialmente a um seu rebaixamento mais intenso decorrente de uma excessiva exploração de água subterrânea através de poços profundos.

Um outro grande risco advindo da ocupação de terrenos cársticos está relacionado à construção de grandes reservatórios de água, através de barragens para produção de energia ou abastecimento, sem o devido cuidado de investigação sobre a existência de maciços rochosos de características carbonáticas ou cálcicas na área do lago formado pela barragem. As águas do reservatório podem migrar em grande vazão para os vazios da rocha calcária, não só impedindo o completo enchimento do lago, como provocando variações de nível, fluxo e pressões no lençol subterrâneo, o que, de sua parte, coloca em risco a própria obra da barragem, como também outras edificações próximas.

Do ponto de vista ambiental, os terrenos cársticos, pela franca e rápida drenagem com que podem propiciar a comunicação entre águas superficiais e águas subterrâneas, obrigam um redobrado cuidado para que se evite a contaminação do lençol freático por poluentes urbanos, industriais ou rurais de superfície.

Conforme Santos (2009), a combinação das características evolutivas do colapso e subsidência com as condições de contorno, e seu cotejo com dados da literatura especializada, levaram a propor que se estava diante de um relevo cárstico coberto em fase ativa de desenvolvimento. Esta hipótese deveria considerar duas possibilidades principais:

- a) desabamento de teto de caverna; e
- b) migração de solos para o interior de cavidades cársticas.

Equipes técnicas já realizaram investigações em campos, independentes da pesquisa geológica e da engenharia, com o objetivo de convergirem os diferentes estudos em diagnóstico abalizado da ocorrência, para ser interpretado o significado espacial e temporal do processo e a adoção das medidas de mitigação, planejamento urbano e monitoramento.

O conjunto de informações sugere fortemente a adoção, dentro da hipótese de uma superfície cárstica coberta, da alternativa da existência de um fenômeno de migração de solos para o interior das cavidades cársticas: as cavidades e bolsões de solos moles, devido a seu comportamento hidráulico e mecânico “sui generis”, seriam instabilizados mediante variações de pressão hidrostática causada por oscilações da superfície piezométrica. Em especial, considerou-se que a indução de tais oscilações por operações de bombeamento d’água, por serem rápidas e cíclicas, criariam diferenças de pressão entre o interior das cavidades e bolsões e os solos circundantes de modo a permitir o trânsito, para baixo, de partículas sólidas, com a conseqüente migração dos bolsões fluidos para cima.

Depreende-se que os terrenos calcários, pela possibilidade de apresentar feições cársticas, devem ser entendidos como típicas áreas de risco para o meio ambiente e para a ocupação humana por obras de engenharia: cidades, barragens, termoelétricas, instalações industriais, estradas, linhas de transmissão, etc., sugerindo, portanto, cuidadosa investigação anterior a qualquer decisão de engenharia. De tal forma que, detectadas feições cársticas, ou o empreendimento humano em questão possa ser deslocado para situações geologicamente mais seguras ou impedidas ou desaconselhadas esse deslocamento, possa-se adotar as medidas necessárias para que acidentes e futuros problemas venham a ser evitados.

2.3.2 Histórico de Subsidências e Colapsos

De acordo com Santos (2011), terrenos calcários são áreas de risco geológico para a Engenharia e para o Meio Ambiente.

O maior acidente relacionado a colapsos de solo no Brasil foi verificado em 1986, na cidade de Cajamar/SP. Outros de menores proporções foram verificados nas cidades de Sete Lagoas/MG, Colombo/PR e Almirante Tamandaré/PR (OLIVEIRA, 2010).

Em 1981, na cidade de Mairinque/SP, várias edificações apresentaram trincas e afundamentos de piso.

No mais famoso caso brasileiro relacionado a esse fenômeno, o ocorrido na cidade de Cajamar/SP em 1986, provocou o afundamento do solo formando cavidades de 32 m de diâmetro e 13 m de profundidade. Esses afundamentos foram inicialmente associados a processos de carstificação. Porém, estudos posteriores mostraram que os referidos processos de carstificação foram intensificados pelo bombeamento de água subterrânea através de poços profundos de grande vazão, que provocaram a migração do solo para ocupar o espaço deixado pela retirada da água, ocasionando, por conseqüência, a subsidência do terreno.

Segundo relato de Santos (2011), o bairro Lavrinhas, em Cajamar, município integrante da Região Metropolitana de São Paulo, os fenômenos de colapso e subsidência foram de grandes proporções, especialmente impactantes por ocorrerem em plena área urbana. Na principal área atingida, três casas haviam sido tragadas (Figuras 2.3a a 2.3c), enquanto que recalques e trincas afetaram dezenas de outros imóveis, estendendo-se ao bairro Vila Branca.

De acordo com Santos (2011), dados extraídos do local proporcionou indícios precursores do fenômeno de carstificação. Foi constatado ruídos semelhantes a trovoadas, deformações de pisos, trincas em edificações, aumento dos casos de ruptura da rede de distribuição d'água e estancamento de fontes. Na madrugada de 12 de agosto de 1986, ruídos e explosões foram ouvidos nas imediações do local, por volta das 9 h ocorreu o colapso, configurando, no fim da tarde desse mesmo dia, uma cratera com cerca de 10 m de diâmetro e 10 m de profundidade, com forma de tronco de cone invertido, passando a um cilindro. Casas com trincas recentes, provavelmente síncronas ao colapso, foram detectadas a mais de 400 m desse local, em Vila Branca. Em meados de setembro de 1986 a cratera havia atingido 25 m de diâmetro. No início de dezembro havia evoluído para 32 m, conservando a profundidade de 13 m, parecendo estar estabilizado. A água subterrânea surgiu em seu fundo em meados de novembro, ascendendo até 7 m em fevereiro de 1987. Os bairros Lavrinhas e Vila Branca assentam-se numa planície de fundo alveolar (forma de concha), constituída de uma cavidade com uma das faces entalhada, cujas partes mais baixas estão em torno de 720 m de altitude, circundada por pequenas serras alongadas, e as maiores altitudes ultrapassam os 920 m. Os pontos mais elevados correspondem a metarenitos, enquanto que filitos, xistos e rochas carbonáticas sustentam relevos progressivamente mais baixos. Trata-se de Rochas metamáficas, ortoderivadas, idades paleoproterozoicas, associadas a filitos, metarenitos e metacalcários da sequência metavulcano-sedimentar do Grupo São Roque, Faixa Ribeira Meridional (OLIVEIRA ET AL., 2011). A própria origem do bairro Lavrinhas liga-se a esse contexto geológico, tendo surgido no início do século XX em decorrência da exploração de pedreiras de calcário da região.

Ainda segundo Santos (2011), em meados de 1992, no município de Almirante Tamandaré, Região Metropolitana de Curitiba/PR, foi observado vários pequenos afundamentos de terreno, trincas de edificações, inclinações de edificações, descolamento entre alvenaria e peças estruturais, rebaixamento do nível d'água em poços, cacimbas e pequenos lagos.

Figura 2.3a – Casa afundada em Cajamar(SP)



Fonte: Proin/Capes & Unesp/IGCE (1999)

Figura 2.3b – Casa afundada em Cajamar(SP)



Fonte: Proin/Capes & Unesp/IGCE (1999)

Figura 2.3c – Casas afundada em Cajamar(SP)



Fonte: Proin/Capes & Unesp/IGCE (1999)

Em 28 de dezembro de 1999, à Rua Simplício Mendes, região central da cidade de Teresina/PI, verificou-se grande afundamento com comprometimento total de várias edificações.

Ainda no município de Cajamar/SP, em 1999, parte das edificações da moderna fábrica da Natura (Cosméticos) sofreu danos estruturais advindos de afundamentos em suas fundações.

Em meados de junho de 2007, no município de Almirante Tamandaré/PR, Região Metropolitana de Curitiba/PR, ocorreu um dos maiores afundamentos de que se tem notícia na região, com forma elipsoidal, 50 metros de comprimento, 40 metros de largura e cerca de 30 metros de profundidade.

Em 14 de agosto de 2007, também no Paraná, no Bairro de Campininha do Capivari, Município de Bocaiuva do Sul/PR, outro colapso com uma cratera de 5 metros de diâmetro e 5 metros de profundidade.

Muitos outros eventos similares de afundamentos de terrenos já aconteceram por todo o país, e que, por não terem causado danos maiores, não obtiveram repercussão de mídia e a devida atenção de especialistas para sua análise e registros técnicos.

Dois fatos em comum ocorreram em todos esses eventos: foram, no passado, precedidos de eventos semelhantes em suas regiões e todos eles aconteceram em terrenos calcários.

Esse último traço comum expressa ainda uma especificidade: terrenos calcários com feições cársticas, ou seja, rochas calcárias que apresentam feições superficiais (cavernas, lapas, drenagens intermitentes, sumidouros e ressurgências, dolinas - depressões de relevo circunscritas, vales secos) e subterrâneas (cavernas, fendas, vazios e canais subterrâneos intercomunicantes) são originadas de processos lentos de dissolução química da rocha calcária.

As regiões de Cajamar/SP e Mairinque/SP afetadas pelos abatimentos estão situadas em rochas calcárias do Grupo São Roque, as de Sete Lagoas/MG em calcários do Grupo Bambuí, as de Almirante Tamandaré/PR em calcários do Grupo Açungui e as de Teresina/PR, provavelmente em bancos calcários da Bacia Sedimentar do Parnaíba.

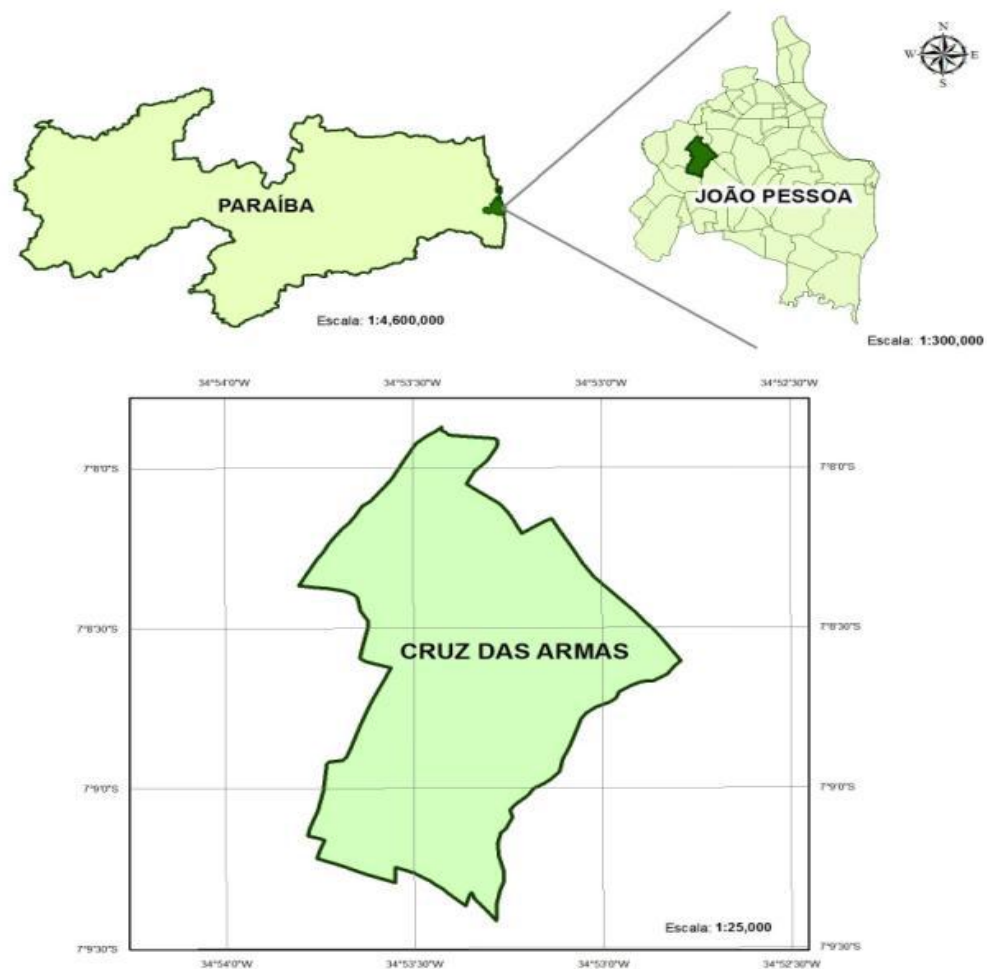
2.3.3 Ocorrências de Subsidências e Colapsos na Área de Estudo

O bairro de Cruz das Armas é um dos mais antigos da cidade de João Pessoa/PB e um dos mais afetados por fenômenos cársticos. Está localizado na Mesorregião da Mata

Paraibana e situa-se entre os limites dos bairros de Jaguaribe ao norte, Oitizeiro ao sul, ao leste com o Cristo Redentor e ao oeste com o bairro da Ilha do Bispo, entre as coordenadas expostas abaixo (Figura 2.4).

O bairro de Cruz das Armas encontra-se totalmente inserido sobre os tabuleiros dissecados da Formação Barreiras na Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba que é subdividida em várias sub-bacias onde estão plantadas as respectivas unidades litoestratigráficas Beberibe, Gramame e Maria Farinha. É importante ressaltar que, o entendimento da interação dinâmica entre ambas as camadas é de substancial importância para a compreensão da gênese de dolinas, exclusivamente no tocante às Formações Gramame e Barreiras.

Figura 2.4 – Localização do Bairro de Cruz das Armas em João Pessoa



Fonte: Furrier e Vital (2011)

De acordo com Brito Neves et al., (2009), em diversos pontos da seção geológica W-E entre Alto da Boa Vista e Tambaú, existem porções onde a Formação Gramame não é

encontrada, como é o caso da área que compreende o bairro Alto do Mateus em João Pessoa. No entanto, nas zonas onde esta formação é encontrada, ela se apresenta bastante falhada, influenciando a espessura e o relevo da Formação Barreiras.

Conforme Oliveira (2001), ao sul do município de João Pessoa, nas imediações das Três Lagoas de Oitizeiro, algumas formas de relevo se diferenciam pelas evidências de morfologia resultante de subsidência por efeito cárstico. Com base em análise de fotografias aéreas e cartas planialtimétricas, foi possível identificar setores com evidências dessas morfologias, originadas por abatimento do calcário em subsuperfície. São formas de relevo bastante dissecadas com cotas altimétricas variando entre 20 e 30 metros, sendo que em alguns setores, este relevo apresenta-se da base para o topo, em forma de degraus com ausência de rede de drenagem regular. Tais características podem estar relacionadas a movimentos tectônicos cujas falhas resultantes, alteraram a morfologia dos calcários logo abaixo da superfície. Em função dessas alterações, os sedimentos da Formação Barreiras sofreram subsidência local ocasionada pela dissolução química dos calcários impulsionada por uma maior percolação da água nos planos de falhas do calcário.

Evidências desse tipo de morfologia também são encontradas nas proximidades do Condomínio Vale das Palmeiras, em um setor com relevo rebaixado em forma de anfiteatro (Figura 2.5). Ainda com base em observação de campo, análise de cartas planialtimétricas e fotografias aéreas, foram identificados pequenos setores com evidências de morfologia originada por subsidência do calcário, a exemplo da Lagoa do Buracão (Figura 2.6) localizada no Conjunto Cidade dos Funcionários, que se apresenta em forma de dolina.

Existem também outros setores dentro da bacia com morfologia semelhante com forma ovalada, localizada no bairro de Oitizeiro, atualmente bastante alterada pela expansão urbana e outra no bairro dos Estados, na avenida Maranhão, sendo esta última em forma de dolina, com sua morfologia original também alterada pela expansão urbana.

Segundo Brito Neves (2004) através do trabalho de Furrier et al., (2007), o relevo da borda oriental do estado da Paraíba está sendo explicado recentemente por estudos de tectônica regional cenozoica, originadas por reativações de antigas falhas no embasamento cristalino do proterozoico. Furrier et al, (2006) e Furrier (2007), constataram que o relevo esculpido sobre a Formação Barreiras está fortemente atrelado aos falhamentos das formações sotopostas.

Figura 2.5 - Área deprimida em forma de anfiteatro, densamente povoada no bairro do Cristo Redentor.



Fonte: Oliveira (2001)

Figura 2.6 - Lagoa do Buracão: possivelmente elaborada por efeito de abatimento cárstico, atualmente utilizada como lixão a céu aberto.



Fonte: Oliveira (2001)

2.4. Materiais de Rochas Calcárias na Construção Civil

Os Calcários (Figura 2.7) e os Mármore (Figura 2.8) se classificam na engenharia dentro do grupo de rochas carbonáticas, ou seja, constituídas por precipitação inicial de carbonato de cálcio em sua maior parte. Estes maciços são muito porosos, geram cavidades extremas devido às reações de dissolução do carbonato pela infiltração e percolação de águas ácidas.

Esta porosidade secundária gerada pela corrosão química fragiliza consideravelmente o maciço, tornando-o menos resistente e muitíssimo permeável. Aliado a estes fatores, tem-se também que estas rochas são consideradas brandas na engenharia, em

vista de que a composição carbonática se deve à presença de minerais moles como Calcitas e Dolomitas (BARISON, 1997).

Figura 2.7 – Rocha Calcária bruta



Fonte: Autor

Figura 2.8 – Mármore de rocha calcária lapidada



Fonte: RochaSul (2014)

Diante disso, presume-se que tais rochas não são aconselháveis a serem utilizadas como matéria prima de nenhum tipo de estrutura de construção civil, visto que não haveria capacidade de suporte. Não existe nenhuma restrição, entretanto, ao seu uso como revestimento ou como elemento ornamental.

2.5 Fenômenos cársticos e os riscos para a Construção Civil

As obras civis apresentam uma grande variedade de problemas para as fundações em rocha. Por exemplo, casas, depósitos e outras estruturas de pequeno porte raramente geram cargas que excedam a capacidade de carga da rocha, inclusive em rochas fracas (GOODMAN, 1989). Porém estruturas de grande porte tais como hospitais, edifícios, pontes etc. precisam de um estudo aprofundado do comportamento tensão x deformação da rocha de fundação, mesmo sendo rocha de boa qualidade. Em alguns casos, torres ou edifícios muito altos podem gerar grandes cargas horizontais e verticais em resposta a forças de vento ou sísmicas.

A transição frágil-dúctil (ASSIS, 2013), caracterizada quando, no processo de fratura, um sólido sofre uma divisão em duas ou mais partes, com a formação de superfícies livres decorrentes do rompimento de ligações atômicas, ocorre, na maioria das rochas, para pressões além da região de interesse na maioria das aplicações em engenharia civil. Entretanto, alguns tipos de rocha, como sal, folhelho e calcário, apresentam comportamento dúctil para baixos níveis de tensão de confinamento (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Pressão de transição frágil-dúctil para algumas rochas a temperatura ambiente

Rocha	Pressão (MPa)
Granito	>>100
Arenito	>100
Calcário	20-100
Folhelho	10-20
Giz	<10
Sal	0

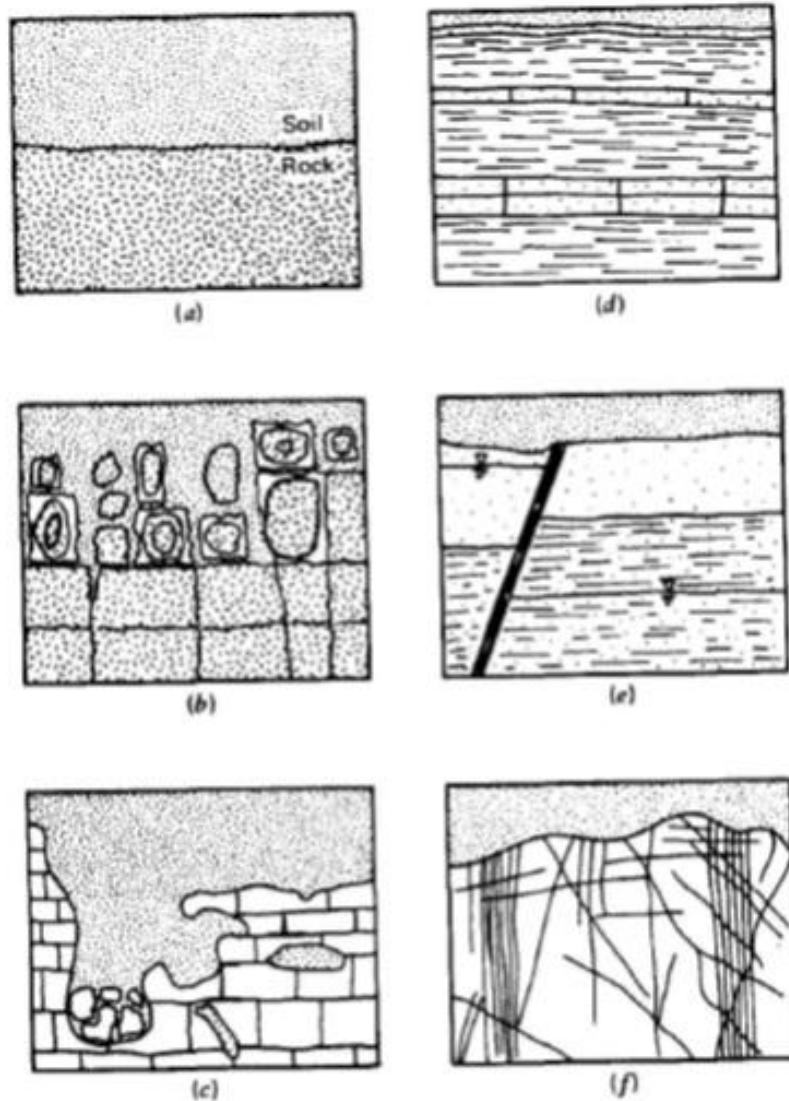
Fonte: Assis (2013)

Se a capacidade de carga da rocha é ultrapassada, isto pode provocar deformações significativas, particularmente quando a rocha de fundação é inerentemente fraca, como xistos argilosos, arenitos friáveis, tufos, calcários porosos, ou rochas intemperizadas, cársticas ou muito fraturadas. Assim, é importante avaliar o comportamento da rocha de fundação diante as solicitações exercidas pela obra. Na Figura 2.9 mostra-se um calcário cárstico, que devido à

tendência de dissolução da rocha, apresenta uma superfície do estrato rochoso irregular e cavernas.

As áreas cárstica são naturalmente susceptíveis a colapso e subsidência de solo e rocha, decorrentes do estágio evolutivo das formas cársticas.

Figura 2.9 – Fenômeno de dissolução da rocha



FONTE: Infanti Jr e Fornasari Filho (1998). Tipos de superfícies de maciços rochosos: a) terreno glacial sobre o maciço; b) granito decomposto; c) calcário cárstico; d) rocha alterada e solo residual sobre arenito e xisto; e) solo sobre uma falha e rocha sedimentar; e f) solo transportado através da rocha fraturada.

"A gênese e evolução de uma paisagem cárstica depende do grau de dissolução da rocha, da quantidade e volume de água associados às características ambientais da litosfera, biosfera e atmosfera", diz Kohler (1995). As feições topográficas do carste são caracterizadas

pela dissolução das rochas carbonáticas, e por feições morfológicas particulares. As formas cársticas são muito variadas, sendo as mais importantes: as lapiás, as dolinas, os sumidouros, as úvalas, os poljés, as ressurgência, entre outras.

A dissolução é comandada pela percolação de águas provindas da superfície, de caráter necessariamente ácido, por conter ácido carbônico e/ou ácidos da decomposição de matéria orgânica como: os húmicos, o tânico e o fúlvico. Conseqüentemente, o processo de dissolução nas rochas carbonáticas cria cavidades em seu interior.

Neste contexto, os colapsos de solo e rocha e as subsidências, são decorrentes do estágio de evolução do modelado cárstico, e do grau de dissolução da rocha, ligados à evolução de cavidades no subsolo, que podem trazer riscos e prejuízos econômicos e até mesmo perdas de vidas humanas, quando estas áreas são ocupadas.

Os colapsos de solo e rocha são movimentos bruscos, circulares em forma de cratera, com seção lateral de tronco invertido, sua ocorrência se processa mesmo sem sinais prévios denunciadores sendo os principais causadores de acidentes graves em áreas de carste (Figura 2.10).

Segundo Penido (2006), as subsidências são processos de adensamento ou rebaixamento do solo, movimentos lentos e causadores de trincas, rachaduras e desabamentos de pequenas proporções.

Os problemas de colapso e subsidência em áreas cársticas podem ocorrer tanto sob condições naturais da evolução da morfologia cárstica, como podem ser acelerados pelas atividades antrópicas, ou seja, podem ser induzidos.

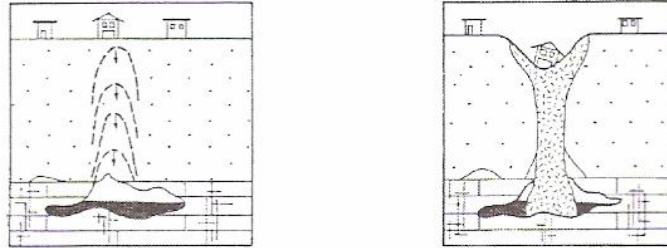
Nesse sentido, é importante salientar que a diferença entre as causas naturais e as induzidas é a velocidade na deflagração dos efeitos resultantes dos processos de dissolução (ALBRECHT, 1996).

As principais atividades do uso e ocupação de áreas cársticas são: as atividades da construção civil, a implantação de pedreiras, as implantações de aterros sanitários, indústrias produtoras de agentes tóxicos, desmatamentos, captação de água subterrânea e superficial, as alterações físicas, químicas e biológicas em parques turísticos, entre outras.

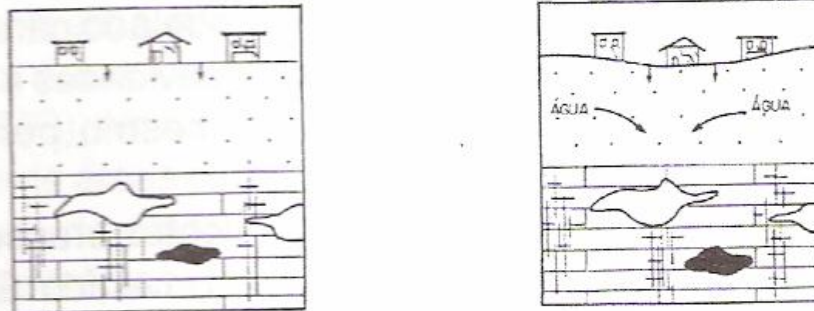
As conseqüências principais do uso e da ocupação desordenada de áreas cársticas são: as mudanças rápidas nos regimes hidrológicos superficiais e subterrâneos (desaparecimento de fontes, diminuição na vazão dos cursos de água, inundações), impermeabilização do solo, vibrações (indução dos acidentes geotécnicos - subsidências e colapso de solo e rocha), poluição rápida do aquífero, entre outros.

Figura 2.10 - Modelo de Afundamentos Cársticos

1 . COLAPSO DE SOLO : MOVIMENTOS BRUSCOS, ESTRUTURA DE TRONCO INVERTIDO, FEIÇÕES CIRCULARES, DESABAMENTOS/ALTO RISCO



2 . SUBSIDÊNCIAS : MOVIMENTOS LENTOS, ADENSAMENTO DE SOLO, RECALQUES EM FUNDAÇÕES, TRINCHAS, RACHADURAS.

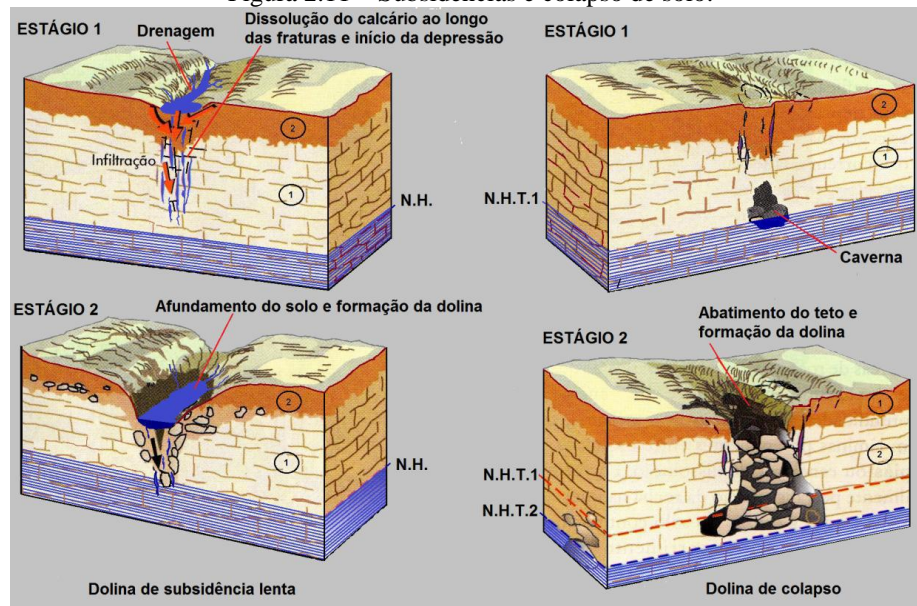


Fonte: Oliveira (1997)

Os colapsos e subsidências (Figura 2.11) de solo e rocha são decorrentes da evolução dos relevos cársticos, do grau de dissolução da rocha e da evolução de cavidades no subsolo. Para Teixeira *et al.* (2001) os colapsos da superfície ocorrem devido ao abatimento do teto de cavernas ou outras cavidades em profundidade. A subsidência do terreno é lenta, enquanto que os colapsos são rápidos.

Neste contexto, construções implantadas em áreas com perfil cárstico tendem a provocar a aceleração dos fenômenos de colapso, na medida em que provoca forças externas sobre o solo. Essas forças causam tensões internas, provocando adensamento do solo mediante expulsão de águas dos seus interstícios. Durante a percolação, essas águas tendem a procurar os espaços vazios (dolinas) deixados pelo processo de dissolução da rocha, carreando o material inconsolidado que sustentam as edificações para dentro desses vazios, iniciando assim os recalques que atingirão a superfície, provocando subsidência ou colapso do solo na região de implantação da construção.

Figura 2.11 – Subsidiências e colapso de solo.



Fonte: Teixeira et al., (2001), com adaptações. Bloco diagrama ilustrando o processo de formação dos dois tipos de dolinas. Legenda: (1) = rocha carbonática, (2) = solo, N.H. = nível hidrostático, N.H.T.1 = nível hidrostático no tempo um, N.H.T.2 = nível hidrostático no tempo dois.

2.6 Fundações

Fundações ou infraestruturas são objetos que não subsistem por si sós, são bases de suporte para algum objeto ou superestruturas (NETO, 1998). Fundação constitui a obra de arte que compõe a construção, destinada a transmitir ao solo os esforços sobrevividos do peso próprio e das cargas atuantes. As fundações classificam-se em Fundações Superficiais e Profundas.

2.6.1 Fundações Superficiais

Segundo a NBR 6122/96 (ABNT, 1996), fundação superficial, também conhecida como fundação rasa ou direta, é um componente de fundação em que a carga da superestrutura é transmitida ao solo, através das pressões distribuídas à base da fundação, e em cuja profundidade de implantação em relação ao terreno contíguo é inferior a duas vezes a menor dimensão do elemento. Estas fundações são do tipo sapatas, blocos, radier, sapatas associadas, vigas de fundação e sapatas corridas.

2.6.1.1 Sapata

Fundação superficial de concreto armado, cujo dimensionamento considera que as tensões de tração produzidas pelo elemento são resistidas pelo emprego da armadura e não pelo concreto. A espessura pode ser constante ou variável e pode também a base de sua planta possuir o formato quadrada, retangular ou trapezoidal.

2.6.1.2 Bloco

Elemento de concreto, dimensionado para que as tensões de tração produzidas possam ser resistidas pelo concreto, dispensando a armadura. Têm faces verticais, inclinadas ou escalonadas e podem apresentar planta de seção quadrada ou retangular.

2.6.1.3 Radier

Quando um único elemento de fundação abrange todos os pilares da obra ou carregamentos distribuídos pela superestrutura, dá-se o nome de radier.

2.6.1.4 Sapata associada (ou radier parcial)

Denomina-se sapata associada quando ela é comum a vários pilares e, na sua planta, os seus centros não estejam situados em um mesmo alinhamento.

2.6.1.5 Viga de fundação

A fundação superficial cujo elemento é comum a vários pilares e seus respectivos centros estejam alinhados, chama-se viga de fundação.

2.6.1.6 Sapata corrida

São quando a sapata está sujeita a ação de uma carga distribuída linearmente.

2.6.2 Fundações Profundas

Ainda segundo a NBR 6122/96 (ABNT, 1996), a fundação profunda é aquele em que o seu elemento transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou pela combinação das duas. Ou ainda é aquela em que está implantada em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão e, no mínimo, superior a 3 m, podendo ser justificadas profundidades menores. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, os tubulões e os caixões, sendo que não existe uma distinção clara entre estas denominações. Mas a Norma segue o atual consenso brasileiro a respeito.

2.6.2.1 Estacas

Trata-se de elemento executado por equipamentos ou ferramentas, sem descida de operário, em qualquer fase de sua execução. Podem ser de madeira, aço, concreto premoldado, concreto moldado *in situ* ou mistos.

2.6.2.1.1 Estaca cravada por percussão

Fundação profunda caracterizada por introdução da própria estaca, ou de um molde, no terreno por golpes de martelo, através de equipamento de gravidade, de explosão, de vapor, de diesel, de ar comprimido ou vibratório. Em alguns casos a cravação pode ser antecedida de escavação ou lançamento.

2.6.2.1.2 Estaca cravada por prensagem

Caso em que é introduzida a própria estaca ou um molde no terreno por um macaco hidráulico. Também são conhecidas como “estacas de deslocamento”.

2.6.2.1.3 Estaca escavada, com injeção

É executada injetando produtos aglutinantes sob forte pressão, que pode ser calda de cimento ou argamassa de cimento e areia. Deve-se garantir a integridade do fuste com o aumento da resistência de atrito lateral, de ponta ou ambas. A injeção pode ser aplicada durante ou após a instalação da estaca.

2.6.2.1.4 Estaca tipo broca

Estaca executada através de prévia perfuração com trado para posteriormente ser concretada.

2.6.2.1.5 Estaca apiloada

É feita uma perfuração com a utilização de um soquete. Este tipo de estaca pode ser abordado nas Normas também como “estaca tipo broca”. As estacas apiloadas e as estacas escavadas que recebem injeção podem ser incluídas nos tipos de estacas que nem são cravadas nem totalmente escavadas.

2.6.2.1.6 Estaca tipo Strauss

São estacas executadas por perfuração através de balde sonda (piteira), usando-se parcial ou totalmente revestimento recuperável e concretagem posterior.

2.6.2.1.7 Estaca escavada

É executada por escavação mecânica, com ou sem lama bentonítica, revestindo-se total ou parcialmente para ser posterior concretada.

2.6.2.1.8 Estaca tipo Franki

Caracterizada por possuir base alargada, produzida pela introdução no terreno de uma quantidade de material granular ou concreto, através de golpes de um pilão. O fuste é moldado no terreno usando-se revestimento perdido ou não ou pela utilização de um elemento pré-moldado.

2.6.2.1.9 Estaca mista

Estas estacas são constituídas até dois elementos de materiais diferentes como madeira, aço, concreto pré-moldado e concreto moldado *in loco*.

2.6.2.1.10 Estaca "hélice contínua"

Executada por meio de trado contínuo e injeção de concreto pela própria haste do trado.

2.6.2.2 Tubulão

Fundação profunda, com elemento cilíndrico, em que há descida de operário em pelo menos na sua etapa final. Pode ser a céu aberto ou com uso de ar comprimido (pneumático) e possuir base alargada ou não. O revestimento é opcional e pode ser de aço ou de concreto. No caso de revestimento de aço (camisa metálica), este poderá ser perdido ou recuperado.

2.6.2.3 Caixaão

Trata-se do elemento de fundação profunda, geralmente de forma prismática, instalado por escavação interna e concretado na superfície. O uso do ar comprimido é permitido e pode ter base alargada ou não.

2.7 Materiais Alternativos Utilizados em Fundações Superficiais

Como em outros campos da construção civil, também na execução das fundações, dentre os materiais aplicados, predomina o concreto de cimento Portland, utilizado com armaduras de aço (concreto armado) em sapatas, radier, em muitos tipos de estacas e frequentemente nos tubulões, ou utilizado sem armação (concreto simples) em algumas estacas e nos tubulões.

Outros materiais também são utilizados, porém em escala menor: perfis de aço em estacas metálicas, troncos de árvore aparados em estacas de madeira e alvenarias e cantarias em blocos e alicerces de pequenas edificações. Ocasionalmente utilizam-se ainda materiais alternativos em fundações para casos pouco rotineiros: estacas de brita ou de solo-cimento, solos reforçados para apoio de sapatas e etc.

Alguns desses materiais alternativos importantes que estão sendo aos poucos incorporados às construções, mais especificamente nas fundações, são de uso inovadores ou frequentes de forma que merecem destaques especiais.

Concreto Reciclado - Pode-se utilizar qualquer tipo de volume para produzir um concreto. Sua resistência será proporcional a dureza dos produtos usados, um exemplo de concreto reciclado é substituir a brita por caco de vidro para se fazer contra piso, ou por bolinhas de cerâmica, pneu ralado (pó), pó de rochas (resto de marmorarias). É só usar a imaginação aliada a alguns testes.

Sacos de Areia e Argila - Utilizam-se sacos de fibras de nylon (Figura 2.12), enche-se de areia e coloca-se um ao lado do outro dentro de uma vala, mesma técnica usada para fazer os baldrame de concreto, só que em vez de concreto você coloca sacos de areia. As paredes que vem acima destes sacos podem ser de sacos de argila misturada com palha, depois coloca uma tela em volta e reboca.

Figura 2.12 – Exemplos do uso de Sacos de Areia ou Argila na Construção Civil



Fonte: Casa Recicla Flores, 2009

Pneus reciclados - Alves et al. (2006) mostra que todos os componentes do pneu podem ser reciclados para a construção civil, sendo as fibras preparadas para incorporar ao concreto como armadura, a borracha pode ser preparada para componentes da construção, tais como: placas impermeabilizantes de contra piso, enchimento de fundações para habitações, composições de painéis de paredes de concreto, etc.

As fundações são do tipo alicerce, sendo as valas preenchidas com solo cimento e rolos amarrados de borracha de pneu, dispostos e filas, com espaçamento entre as peças e travados na vertical para aumentar a resistência ao cisalhamento.

A mistura de solo cimento será na relação 1:10 (cimento:solo) em volume, sendo o solo com teor de areia entre 45 à 90%, silte mais argila entre 10 à 55%, (ALVES, 2006).

As cavas das fundações devem ter 40 cm de largura e 50 cm de profundidade, podendo ter distribuído carcaças de pneus preenchidas com concreto com agregado de entulho, conforme Figura 2.13. A cada 2,0 m ao longo da fundação deverá ser executado um pilarete de concreto, deixando embutido nestes quatro barras de aço de 10 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, nos cantos, sendo 15 cm embutido nos pilaretes.

Figura 2.13 – Fundação de uma residência térrea utilizando carcaça de pneus.



Fonte: Alves et al. (2006)

Rocha - É um material de excelente qualidade, impermeável e com capacidade de suportar grandes cargas. O concreto nada mais é que uma imitação da rocha. O cimento age como uma cola que junta os diversos grãos no tamanho e forma que desejamos e que ainda necessita de aditivos para se tornar impermeável. Com a rocha não precisamos fazer nada disso. A construção com rocha foi largamente usada na antiguidade e é utilizada até hoje em regiões onde é encontrada em abundância. Em algumas regiões de altas montanhas não existe madeira, só rocha e gelo. Na região do Himalaia, as paredes, móveis e telhas são feitos de rochas.

Muitos proprietários preferem uma fundação de rocha por várias razões. É a base estrutural mais comum de casas ou edifícios antigos e, portanto, os materiais usados na fabricação de uma fundação de rocha são fáceis de encontrar por serem abundantes. Fundações de rocha são mais duráveis do que qualquer outro material e são mais resistentes do que os materiais alternativos. Outra coisa refere-se a sua manutenção, eles são menos caros para manter, resultando em menos gastos em longo prazo. No entanto, fundações de rocha tendem a ficar frio e úmido resultante de vários problemas como mofo. Bases feitas de rocha

podem também causar significativa quantidade de perda de calor na casa. Por esta razão, o isolamento da rocha pode ser necessário.

2.8 Caracterização da Rocha Calcária

Existem pouquíssimos trabalhos de caracterização da rocha calcária. Entre eles destaca-se o de Silva (2006), que realizou ensaios físico-químicos de caracterização de areia britada da rocha calcária para o programa de fomento ao segmento de produção de calcário no Estado do Paraná, através de amostras representativas das rochas carbonáticas explotadas no Estado. Nesse trabalho foram realizados os seguintes ensaios:

- composição química;
- massa específica real;
- abrasão "Los Angeles" (ABNT, 1984 NBR 6465/84);
- absorção de água.

De acordo com os resultados apurados no trabalho de Silva (2006), a rocha possui o nome da Rocha de Metacalcário Calcítico e trata-se de rocha homogênea de cor cinza-escura, sem estrutura aparente e baixa porosidade (maciça). Apresenta como principais características a cor, granulometria muito fina ($<0,1\text{mm}$) e seu grau de fraturamento. O resultado da análise química define essa rocha como sendo constituída essencialmente por carbonato de cálcio. Os valores de sílica e alumina permitem aventar a existência de quartzo e, provavelmente feldspato ou epidoto. Tem estrutura maciça. Em seu estado microfissural possui importantes fraturamentos que se encontram preenchidos por calcita, consequência de processos de remobilização de carbonato de cálcio. É classificada como rocha calcária de origem sedimentar que, em função do estágio de litificação, pode-se admitir a influência de forte diagênese e/ou um incipiente processo de metamorfismo (anquimetamorfismo).

A composição da rocha foi efetuada por equipamento de fluorescência de raio-x, obteve-se para as amostras, as composições constante da Tabela. 2.3.

Outros resultados são:

- Massa específica real = $2,70\text{ t/m}^3$;
- Índice de absorção d'água = $0,14\%$;
- Abrasão "Los Angeles" = Faixa B, percentual de perda de massa verificada: $16,4\%$ (limite máximo permitido $< 50\%$) ((ABNT, 1984NBR 6465/84)

Dantas et al (2011) também efetuou caracterização da Rocha Calcária através de FRX (Fluorescência de Raio X) e DRX (Difração de Raio X) foram identificados os

constituintes da rocha, conforme Tabela 2.4. A análise de DRX apresentou como única estrutura cristalina presente no material a calcita, confirmando que é um material calcário.

Tabela 2.3 - Análise Química

Parâmetro	% da massa total
Perda ao fogo	38,69
Cálcio (CaO)	44,86
Magnésio (MgO)	3,13
Sílica (SiO ₂)	5,59
Alumínio (Al ₂ O ₃)	1,12
Ferro (Fe ₂ O ₃)	0,63
Potássio (K ₂ O)	0,16
Sódio (Na ₂ O)	-
Enxofre (SO ₃)	-
Teor de cálcio em relação à base não volátil	92,60

Fonte: Silva(2006)

Tabela 2.4 – Fluorescência de raio X da rocha calcária

Metais Presentes na Rocha calcária na forma de óxidos	Porcentagem %
Cálcio	95,4502
Magnésio	2,6111
Níquel	1,9387

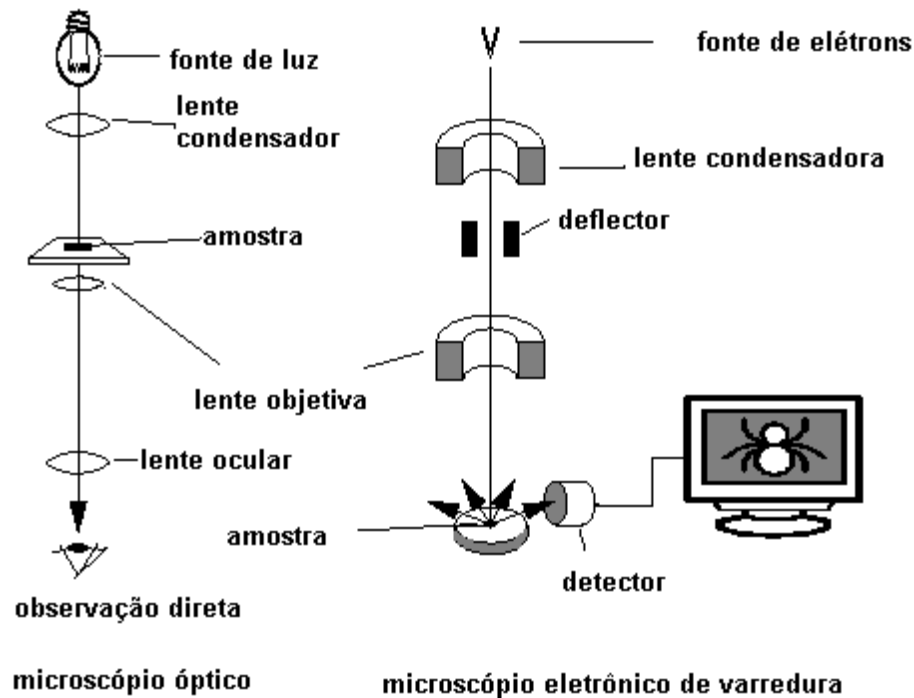
Fonte: Dantas et al (2011)

2.9 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

De acordo com Dedavid (2007) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é um processo onde se utiliza um Microscópio Eletrônico de Varrimento (MEV) que, como o próprio nome diz, é um tipo de microscópio eletrônico capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Devido à maneira com que as imagens de MEV são criadas, elas têm uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial de uma dada amostra.

É um instrumento que permite a observação de amostras sólidas com um aumento da ordem de centenas de milhares de vezes. Seu princípio é análogo ao de um microscópio óptico tradicional. A diferença reside no fato de que a luz e as lentes de vidro são substituídas por um feixe de elétrons e lentes eletromagnéticas, conforme esquema da Figura 2.14, o que permite solucionar o problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca.

Figura 2.14 – Desenho esquemático para comparação entre microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura.



Fonte: Dedavid (2007)

O MEV é um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características micro estruturais de objetos sólidos. Pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. Sua utilização é comum em biologia, odontologia, farmácia, engenharia, química, metalurgia, física, medicina e geologia.

Em um MEV típico, os elétrons são emitidos termiõnicamente a partir de um cátodo (filamento) de tungstênio ou hexaboreto de lantânio (LaB_6) e acelerados através de um ânodo, sendo também possível obter elétrons por efeito de emissão de campo. O tungstênio é tipicamente usado por ser o metal com mais alto ponto de fusão e mais baixa pressão de vapor, permitindo que seja aquecido para a emissão de elétrons. O feixe de elétrons, o qual normalmente têm uma energia que vai desde as algumas centenas de eV (eletro volt) até 100keV, é focalizado por uma ou duas lentes condensadoras, em um feixe com um ponto focal muito fino, com tamanho variando de 0,4 a 0,5 nm. Este feixe passa através de pares de bobinas de varredura e pares de placas de deflexão na coluna do microscópio.

Tipicamente as lentes objetivas, as quais defletem o feixe horizontal e verticalmente para que ele varra uma área retangular da superfície da amostra.

Quando o feixe primário interage com a amostra, os elétrons perdem energia por dispersão e absorção em um volume em forma de gota, conhecido como volume de interação,

o qual se estende de menos de 100 nm até em torno de 5 μm para dentro da superfície da amostra. O tamanho do volume de interação depende da energia dos elétrons, do número atômico dos átomos da amostra e da densidade da amostra. A interação entre o feixe de elétrons e a amostra resulta na emissão de elétrons secundários, elétrons retroespalhados, elétrons Auger, raios-x Bremsstrahlung, raios-x característicos, radiação eletromagnética na região do infravermelho, do visível e do ultravioleta, fônons além de causar aquecimento da amostra.

2.10 Difração de Raio X (DRX e FRX)

A difratometria de raios X (KAHN, 2003) corresponde a uma das principais técnicas de caracterização micro estrutural de materiais cristalinos. encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento, mais particularmente na engenharia e ciências de matérias, engenharias metalúrgica, química e de minas, além de geociências dentre outros.

A principal aplicação da Difração de Raio X refere-se à identificação de compostos cristalinos, sejam eles inorgânicos ou orgânicos.

Os raios X ao atingirem um material podem ser espalhados elasticamente, sem perda de energia pelos elétrons de um átomo (dispersão ou espalhamento coerente). O fóton de raios X, após a colisão com o elétron, muda sua trajetória, mantendo, porém, a mesma fase e energia do fóton incidente. Sob o ponto de vista da física ondulatória, pode-se dizer que a onda eletromagnética é instantaneamente absorvida pelo elétron e reemitida; cada elétron atua, portanto, como centro de emissão de raio X.

Se os átomos que geram este espalhamento estiverem arranjos de maneira sistemática, como em uma estrutura cristalina, apresentando entre eles distâncias próximas ao do comprimento de onda da radiação incidente, pode-se verificar que as relações de fase entre os espalhamentos tornam-se periódicas e que efeitos de difração dos raios X podem ser observados em vários ângulos.

2.11 Abrasão Los Angeles

Esse ensaio, de acordo com Al-Harhi, (2001) e conforme norma Brasil (1998) DNER-ME 035/98, consiste em obter certa quantidade de agregado, cinco ou dez quilogramas, satisfazendo a determinada granulometria, e submetê-la a choques e desgastes durante a rotação de um tambor metálico de 80 centímetros de diâmetro a uma velocidade de

30 a 33 rpm. O efeito é intensificado pela presença de doze bolas de aço e o ensaio é concluído após 500 ou 1000 rotações a depender da faixa granulométrica. Posteriormente, o material é peneirado e o desgaste aferido pela razão entre a quantidade de material que passou na peneira de 1,7 mm após o ensaio e a quantidade total colocada inicialmente no tambor. A Figura 2.15 abaixo apresenta um exemplo de máquina Los Angeles.

A execução deste ensaio, requer os aparelhos e materiais indicados a seguir:

- a) balança com capacidade de pelo menos 10 kg e sensibilidade de 1 g;
- b) esferas de ferro fundido com aproximadamente 47,6 mm de diâmetro, pesando cada uma entre 390 g e 445 g, apresentando superfície uniforme;
- c) estufa capaz de manter a faixa térmica de trabalho entre 105 e 110°C;
- d) máquina “Los Angeles”.

Figura 2.15 – Equipamento para ensaio de Abrasão Los Angeles.



Fonte: Al-Harhi (2001)

2.12 Investigações Geotécnicas

Em todo o mundo a investigação geotécnica é uma exigência, porém, é muito ainda associada à experiência. As investigações e a instrumentação de obras geotécnicas têm sido muito facilitadas com o avanço tecnológico e o surgimento de tecnologias modernas. Entretanto, percebe-se nitidamente que determinadas tecnologias são muito comuns no meio científico e não têm auferido a atenção que merecem da indústria geotécnica (MARINHO, 2005). Pode-se então entender a ideia da relevância e imprescindibilidade de fundamentar condutas úteis na engenharia geotécnica baseado em investigações necessárias.

Toda procura só é acompanhada do respectivo sucesso dependendo das investigações que são desenvolvidas. É surpreendente constatar que o piezômetro, um dos

instrumentos mais úteis na geotecnia, foi otimizado na área de saúde. Stephen Hales mediu a pressão sanguínea de um cavalo em 1733. O tubo da Figura 2.16 é, na realidade, um piezômetro, ilustrado por um experimento de Hales (FORSSMANN, 1956). Até os dias atuais a medicina tem sido uma grande precursora no uso de instrumentação e investigação para salvar vidas.

Figura 2.16 - O primeiro "piezômetro".



Fonte: Marinho (2005)

Não existe diferença da engenharia geotécnica para as demais ciências, a qual também teve o seu progresso subordinado a muita investigação. A construção de barragens, estradas, metrô e fundações em geral, foram responsáveis por gerar uma sólida base de informação que dependeram da colaboração crucial dos recursos empregados nas investigações.

O principal objetivo da investigação geotécnica é avaliar as condições geológicas e dos solos que interferem na segurança da execução ou remediação dos projetos. Os aspectos ditos “ambientais” demandam preocupações e têm determinado investigações similares ao

conceito das investigações para fins geotécnicos. Desta forma, investigação geotécnica é o procedimento de fornecer informações para os aspectos ambientais dos projetos.

Investigações geotécnicas sugere que se devem ter dados quantitativos oriundo de ensaios laboratoriais e de campo. É necessário considerar que a ciência das condições do subsolo atrela-se à extensão e qualidade das investigações geotécnicas. É muito óbvio que grandes riscos concernentes às obras de engenharia estão relacionados a deficiências do subsolo. Problemas estes associados às incertezas inerentes às ações da natureza e do homem.

Ausência de investigações geotécnicas, ou mesmo a má interpretação de resultados, resulta em projetos inadequados, atrasos na obra, aumento de custos por alterações de última hora, remediações, problemas ambientais e até o colapso da obra. A investigação geotécnica minimiza estes riscos e custos e ainda demonstra responsabilidade para com a população e respeito à natureza. Não se deve esquecer que os resultados e análises das investigações geotécnicas são partes documentais integrantes dos projetos de construções.

2.12.1 Métodos de Investigação

Ainda de acordo com Marinho (2005), vários fatores servem de subsídios para escolha dos métodos de investigação. Dentre eles destacam-se: natureza dos materiais de subsuperfície, condição do lençol de água, tipo de obra a ser construída ou investigada, complexidade da área, topografia local, grau de perturbação de cada método investigativo, tempo, aspectos geoambientais, limitações de orçamento e aspectos políticos. Em geral os dois últimos itens são responsabilizados pela redução das investigações, que geralmente levam obras à ruptura.

A investigação geotécnica, além de fornecer o diagnóstico das características geométricas e estruturais que condicionam a maioria das soluções, tem como objetivo principal fornecer parâmetros para projeto e análises. Parâmetros estes possíveis de serem relacionados com resistência, deformabilidade e fluxo. Todavia, a proliferação de programas computacionais como ferramenta da análise paramétrica e de simulações numéricas tem se tornado substituto das investigações. Os programas normalmente já trazem sugestões de parâmetros, que, na maioria dos casos, as particularidades dos solos e das diversidades das regiões do Brasil não são consideradas, mostrando assim que os métodos tradicionais de investigação jamais poderão ser substituídos.

2.12.1.1 Ensaios Geofísicos

Marinho (2005) mostra que, com a geofísica, é possível estudar propriedades físicas dos solos e das rochas utilizando os princípios básicos da física. Assim sendo, alguns métodos podem ser usados na obtenção de dados importantes a serem usados na engenharia geotécnica. Podem ser destacados os métodos elétricos, magnéticos e sísmicos, além de outros possíveis.

Um dos métodos importante é o que utiliza o radar. Cujo funcionamento utiliza-se um GPR (Ground-Penetrating Radar) que coleta as condições da subsuperfície, através de envio de pulsos eletromagnéticos de alta frequência. Estes pulsos são enviados por intermédio de uma antena e, de acordo com a estratigrafia do local, parte da onda emitida é refletida de volta e outra restante prossegue. A energia da onda refletida é captada por antena receptora, cujos sinais são plotados em gráficos que cruza distância em relação ao tempo. Ao fazer a modificação da posição das antenas obtém as imagens da subsuperfície. Esta reflexão tem como causa a existência de particularidade existentes nos materiais e que comportam diferentes propriedades elétricas. As singularidades de cada material possuem aspectos que podem ser relacionados ao teor de umidade, teor de argila, mudança de densidades e fraturas, além de elementos como tubulações e outros.

Como a profundidade de penetração está sujeita às condições de cada local, a absorção ou repercussão das ondas estão intrínsecas a determinadas propriedades do solo, sobretudo à condutividade elétrica do material em que se constitui o solo. Quanto mais arenosos e secos, maiores penetrações. Por conseguinte, as menores penetrações, obviamente, ocorrem em solos argilosos com alta umidade. Há a possibilidade de aumento da resolução do radar em função do aumento da frequência das ondas transmitidas, bastando usar antenas de diferentes padrões.

2.12.1.2 Ensaios de Laboratório

Segundo Marinho (2005), inicia no campo o sucesso dos resultados de ensaios de laboratório e depende exclusivamente da qualidade das amostragens, que leva em conta os aspectos de cuidados físicos a representatividade das amostras retiradas no campo. Há vínculo entre as fases de investigação e de identificação das características que devem ser avaliadas. Os blocos indeformados devem originar as amostras indeformadas, usando-se na coleta

amostradores de especificações apropriadas a cada tipo de amostra, tendo presente a existência de suas limitações dos instrumentos.

Toda investigação deve ser estimulada em face da presença da enorme variabilidade das características dos solos. Pela simples razão de não se conhecer por completo a natureza do que se há de observar e investigar. A diversidade de parâmetros referente à resistência e à condutividade hidráulica é dependente de características a serem estudadas à luz da mecânica dos solos, as quais sugerem que a variabilidade de resistência é sempre inferior que a da condutividade hidráulica.

Ensaio de laboratório não deveriam ser encarados somente como uma forma de se conseguir os habituais parâmetros de solos para projetos de engenharia. Na realidade eles são, acima disso, ferramentas investigativas para as demandas individuais de cada obra. Quando a obtenção de parâmetros geotécnicos é sistematizada pela forma como se programa e realiza os ensaios, existe uma enorme contribuição para a falta de cuidado que mascara resultados. Ainda é corriqueiro utilizarem ensaios não consolidados e não drenados (UU), apesar da pouca representatividade de seus resultados. O uso da curva de retenção é cada vez mais usado para se avaliar o comportamento dos solos. Por este motivo têm lentamente adotado o método mais clássico para determinação da curva de retenção de água no solo que é a câmara de pressão de Richards, porque, além de outras utilidades, proporciona a obtenção da maior parte dos parâmetros usados em projetos construtivos.

2.12.1.3 Ensaio de Campo

Os ensaios de campo para investigações geotécnicas são também conhecidos com sondagens. São tão importantes para a obra como, por exemplo, o levantamento topográfico. A falta de conhecimento do solo gera grandes erros, podendo levar uma obra a falência. Para conhecer melhor os solos onde vão ser implantadas as grandes obras, existem um amplo espectro de sondagens e ensaios, os quais serão escolhidos e utilizados de acordo com a situação da obra e do terreno.

Mota (2003) mostra que o desenvolvimento de ensaios de campo, ou retroanálises de casos reais, tiveram como objetivo atender as requisições de tecnologias construtivas modernas, que gradativamente constituíram-se em instrumentos de que dispõe a geotecnia para obtenção de detalhes característicos dos tipos de solo, descrição de posições do lençol freático

e índices físicos. Também fazem estimativa do estado inicial de tensões presentes no solo, sua base histórica, características tensão-deformação-tempo e resistência do solo.

Ultimamente foram introduzidos novos e modernos equipamentos de investigação, visando exatamente ampliar o aproveitamento de diferentes tecnologias em condições mais diversas de subsolos.

2.12.1.3.1 Trado

O trado deve ser usado para retirada amostras deformadas, segundo Mota (2003), e reconhecimento da estratigrafia em pequenas profundidades, assim consideradas aquelas inferiores 2 m, podendo chegar a 5 ou 6 metros emendando hastes com adaptadores ao cabo do trado. Entretanto trata-se de procedimento lento, causando aumento nos custos da obra, além de possuir limitações no fornecimento de informações úteis ao projeto. Caso seja recomendado o seu uso, devem ser usados trados para retiradas de amostras de solo com diâmetro pequeno, entre 2 a 4 polegadas (5 a 10 cm).

2.12.1.3.2 Sondagens de simples reconhecimento (standard penetration test – SPT)

No Brasil, segundo Rocha (2013), e na maioria dos países do mundo, o ensaio geotécnico mais utilizado para determinação de parâmetros e perfil estratigráfico é a sondagem de simples reconhecimento (SPT). No entanto este ensaio fornece um único índice para determinação de vários outros parâmetros, fato este muito questionado por diversos pesquisadores, como Mayne (2000), por exemplo.

O ensaio destina precipuamente a identificar a consistência de solos granulares, embora também possa ser aplicado para identificar solos coesivos e possíveis tipos de rochas brandas. Ele oferece o valor relativo ao número de golpes utilizados para cravar no solo um amostrador padrão de diâmetro de 50 mm (SCHNAID. 2000). Inicia-se o ensaio com perfuração de um furo com trado helicoidal, ou circulação de água (VELLOSO; LOPES, 1996).

Obtém-se com esta sondagem os níveis d'água, existindo água no local, ou a posição do lençol freático, o tipo de solo através de extração das amostras deformadas e a resistência oferecida pelo solo (N_{spt}), em função da cravação do amostrador padrão.

A perfuração do solo, revestida ou não, é realizada inicialmente com um trado ou lavagem de água, com um furo em torno 55 cm de diâmetro. Após esta perfuração, o

amostrador padrão é inserido no furo de escavação e o ensaio tem prosseguimento. Constitui-se na caída de um martelo com massa de 65 Kg de uma altitude de 75 cm. O numero de golpes para cravar 15 cm dos 45 cm restantes é contado e o valor de N é atribuído ao número correspondente aos últimos 30 cm (SCHNAID, 2000). No transcorrer do ensaio vai-se registrando as profundidades de cada camada detectada, em função da análise táctil visual e da mudança de cor dos materiais suspensos pelo trado, pelo amostrador ou pela água usada na lavagem.

As principais vantagens do SPT é a retirada de amostras até profundidades consideráveis e a facilidade de encontrar equipamentos e peças em todo o país, além de ser um sistema relativamente barato, em face principalmente da enorme concorrência.

2.12.1.3.3 Ensaio de penetração do CPT e CPTU

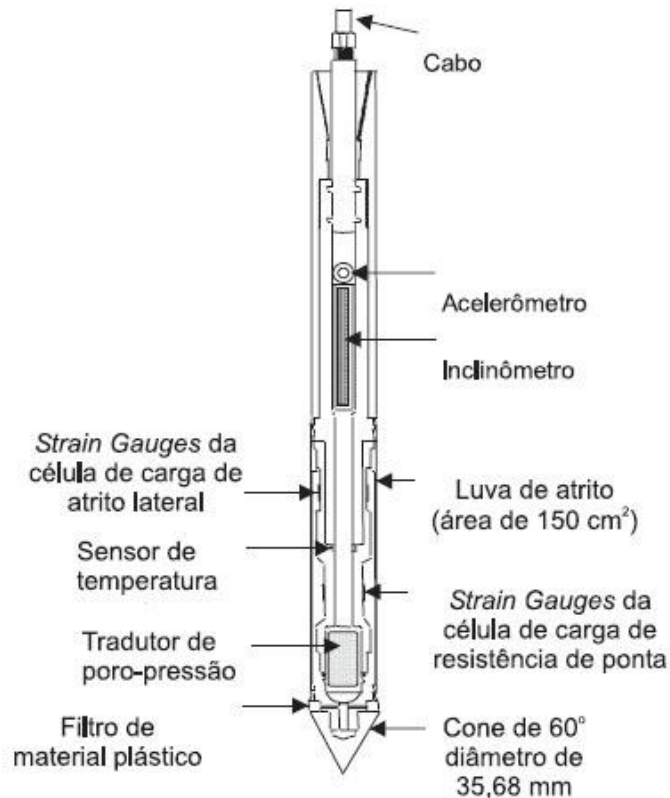
O piezocone (GIACHTI; QUEIROZ, 2004) é um tipo de ensaio de penetração semiestática realizado no local da investigação que identifica o perfil geotécnico do terreno e avalia em primeira mão os parâmetros geotécnicos do solo (LUNNE ET AL., 1997). Existem equipamentos para o ensaio com medição de poro-pressões (CPTU), como para o ensaios sem esse tipo de medida (CPT).

O equipamento constitui de uma ponteira cônica (Figura 2.17) conectada na extremidade de um conjunto de haste que é introduzida no solo em velocidade constante, igual a 2 cm/seg, aproximadamente igual a 1 m/min. O cone, de vértice de 60° e de diâmetro típico de 35,68 mm (que corresponde a uma área de 10 cm²), deve ter o diâmetro das hastes igual ou inferior a essa medida.

No transcorrer do ensaio, a resistência à penetração da ponta do cone vai sendo medida de forma constante. Igualmente é feita a medição da resistência à penetração através de uma luva de atrito localizada um pouco acima do cone. Através dos penetrômetros eletrônicos, os quais possuem células de carga com muita sensibilidade, registram-se a resistência de ponta (q_c) e o atrito lateral (f_s). Os valores da poro-pressão (u) são determinados por de um transdutor de pressão, também situados um pouco acima da posição do cone de penetração. Existem piezocones que possuem múltiplos transdutores de pressão, possibilitando a determinação da poropressão na ponta (u_1), atrás da ponta (u_2) e atrás da luva de atrito (u_3). Os procedimentos de ensaio para o CPT e o CPTU são idênticos, exceto pela preparação do piezo-elemento, que consiste na inserção de ar (aeração) no filtro poroso e no próprio cone. Para penetração utiliza-se um sistema hidráulico, acoplado a um sistema de

reação, com capacidade entre 100 a 200 kN, que normalmente é adaptado em carretas ou carroceria de caminhões.

Figura 2.17 – Ponteira do CPTU



Fonte: Giachti e Queiroz, 2004

No piezocone eletrônico os sinais são geralmente transmitidos por um cabo existente no interior das hastes do cone. Os dados coletados são digitalizados e gravados em intervalos de 25 ou 50 mm de penetração. A coleta dos dados é apresentada no tempo real, de acordo com os resultados obtidos durante a penetração, e mostrado em gráficos da variação da resistência de ponta (q_c), do atrito lateral (f_s) e da poropressão (u), em relação à profundidade. A dissipação da poropressão com o tempo é monitorada durante as interrupções da penetração.

O CPT e o CPTU fornecem parâmetros muito úteis em geotecnia e é um dos equipamentos mais sofisticados do mercado de equipamentos destinados à geotecnia. Os equipamentos mais modernos chegam aos mesmas profundidades dos sistemas SPT. Além disso, podem detectar informações com excelente sensibilidade e acurácia em camadas bastante delgadas de solo. Entretanto, devido ao alto custo e dificuldade de entrar em locais de acesso complicado, o CPT tem pouco uso em obras geotécnicas.

2.12.1.3.4 Ensaio de Penetração do Minicone (MCPT)

O minicone, também denominado de CIMCPT (Continuous Intrusion Miniature Cone Penetration Test System), também de acordo com Giachti e Queiroz (2004), é um tipo de ensaio de penetração, desenvolvido pelo Louisiana Transportation Research Center - LTRC da Louisiana State University – LSU. É uma ferramenta que alia rapidez, confiabilidade e economia na caracterização de camadas do solo, se comparada a outros ensaios de campo e de laboratório (TUMAY; DE LIMA, 1992).

O minicone tem uma ponta com diâmetro de 12,7 mm, uma luva de atrito com 150 mm de comprimento e tem capacidade para perfurar profundidades de até 12 m com uma velocidade constante de 20 mm/seg. O dispositivo desenvolvido no sistema CIMCPT possui movimentação contínua de penetração, que reduz significativamente efeitos da tensão normal e adensamento, muito comum em resultados dos ensaios de cone padrão, que ocorre no decorrer da penetração no solo. Ele pode ser executado por um único operador e dispensa a emenda de hastes, como ocorre nos equipamentos de piezocone. Comparados aos penetrômetros com cone de dimensões padrão, ele fornece melhores detalhes do subsolo. É bastante recomendado principalmente na caracterização de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários e também em controles de compactações, por fornecer dados bastante fieis, importantes para a melhoria das condições do subsolo de infraestrutura de rodovias.

O minicone também é usado com vantagens em investigações destinadas a projetos de pequenas fundações, usando correlações que podem ser conseguidas com provas de carga (TUMAY; KURUP, 1997).

Este tipo de ensaios *in situ* é muito útil em infraestrutura de pavimentos rodoviários existentes, sem muita interferência na superfície de rolamento, em face do pequeno furo, de apenas 25,4 mm de diâmetro, que acessa as diversas camadas de solo.

Podem ser usados pequenos veículos para montagem dos sistemas, haja vista a pequena carga de reação para a penetração do minicone, o que facilita a mobilidade e acessibilidade aos locais dos ensaios. É montado na carroceria do veículo e possui um sistema mecânico de acionamento hidráulico para aplicação das cargas e avanço do cone. A velocidade de penetração pode ser controlada e mantida constante a 2 cm/seg. por um sistema hidráulico de avanço da haste, composta por um tubo contínuo, sem emendas, que vai sendo desenrolado.

Os resultados dos ensaios *in situ* têm aplicações práticas imediatas em aplicações práticas em engenharia civil e ambiental (TUMAY; KURUP, 1999).

2.12.1.3.5 Sondagens Geotécnicas tipo DMT (Dilatômetro de Marchetti)

Tipo de ensaio efetuado através do dilatômetro de Marchetti, desenvolvido por um Professor da Universidade L'Aquila, o engenheiro Silvano Marchetti, em Roma, na Itália, em 1975, e introduzido nos Estados Unidos, onde foi conhecido e popularizado internacionalmente. Hoje é utilizado em 40 países e foi trazido no Brasil apenas em 1986 (ZANELLA; MARTINS; SILVA, 2014).

O DMT, como é mais conhecido, ou dilatômetro de Marchetti, é um equipamento de sondagem destinado a levantamento de parâmetros geotécnicos de solos, que possui basicamente uma lâmina, cabo elétrico-pneumático, unidade de controle, dispositivo de calibração e caixa de ferramentas. O ensaio consiste na cravação da lâmina dilatométrica por meio de compressão semiestática, ou método dinâmico (martelo).

O ensaio é realizado inserindo a lâmina verticalmente no interior do solo, de modo a minimizar perturbações que possam interferir nos resultados da análise, com interrupção a cada 20 centímetros. Após a cravação da lâmina, faz-se a dilatação da membrana com a adição gradativa de gás no sistema, registrando leituras na unidade de controle das pressões necessárias para o deslocamento de uma membrana de 0,05 e 1,10mm.

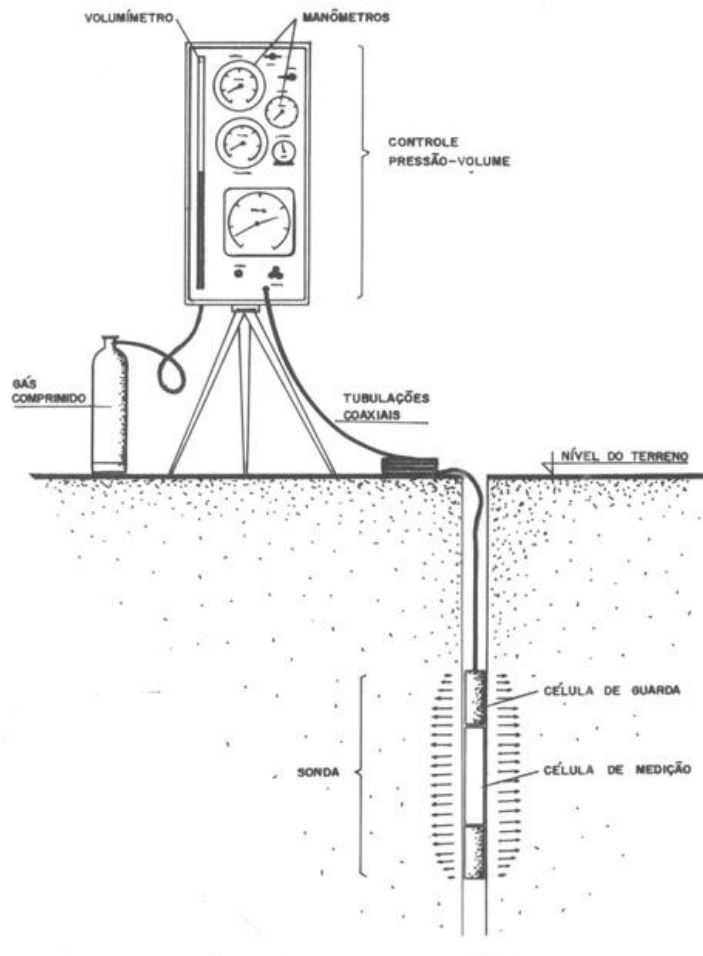
O ensaio proporciona a obtenção dos índices, conhecidos como dilatométricos, do módulo dilatométrico (E_d), tensão horizontal (K_d) e do material (I_d). Estes são intermediários e representam as bases para correlações que permitem estimativas de outros parâmetros. O módulo dilatométrico (E_d), corresponde à quantificação da compressibilidade do solo e foi desenvolvido a partir da Teoria da Elasticidade. Consiste em admitir no solo uma lamina formada por dois semiespaços elásticos em torno do dilatômetro, promovendo a expansão da membrana, que se dá através do carregamento flexível de uma área circular. O índice do material (I_d) estima o tamanho das camadas estratigráficas, o tipo e a granulometria do solo. O índice de tensão horizontal (K_p), fornece avaliação do histórico de tensões que o solo já foi submetido. Normalmente pode ser definido de forma parecida ao coeficiente de empuxo no repouso e quanto maior for o valor de K_p , maior é a tensão horizontal. Este índice também está relacionado a propriedades como a idade do depósito, grau de cimentação e razão de sobre adensamento.

2.12.1.3.6 Ensaio Pressiométrico (PMT – Pressiômetro de Ménard)

Segundo Mota (2003), o primeiro pressiômetro foi desenvolvido por Klöger, em 1933, sem o sucesso esperado em virtude de problemas de interpretação dos resultados e limites tecnológicos em face da não existência de materiais com resistência para suportar as pressões exigidas pelo equipamento. O termo pressiômetro foi definido em face do elemento cilíndrico aplicado na pressão uniforme das paredes do furo de sondagem. O equipamento é dotado de uma membrana flexível que promove a expansão de uma cavidade cilíndrica na massa de solo. Atualmente este equipamento é bastante aceito como ferramenta usual de investigação geotécnica, sendo útil na determinação do comportamento tensão-deformação de solos. (CUNHA, 1994; SCHNAID, 2000).

Os pressiômetros são para os tipos de ensaios: em furação prévia (PMT), auto-escavantes (SBP) e cravados ou de inserção direta (PIP). A Figura 2.18 apresenta o Pressiômetro de Ménard (PMT), para ensaios com perfuração prévia.

Figura 2.18 – Ilustração do pressiômetro de Ménard (PMT).



Fonte: Mota, 2003

As vantagens do pressiômetro são visíveis na obtenção da relação tensão-deformação do solo, do módulo de deformação, da pressão de escoamento e da pressão limite associada às condições de ruptura do solo, além da possibilidade de medir as propriedades de deformação do solo, a resistência limite ou de ruptura.

No Brasil os pressiômetros foram ingressados na década de 1970 pela Pontifícia Universidade Católica PUC/RJ e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/SP). A Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em conjunto com a Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC/RS), desenvolvem estudos de solos com um pressiômetro Ménard desde o início da década de 90. De acordo com Schnaid, Consoli e Mántaras (1995), nessa época já existia alguma experiência relacionada ao uso e interpretação de pressiômetros em solos brasileiros, porém limitadas a centros de pesquisa.

Apenas em 1992 foram registrados os primeiros trabalhos de sondagens feitos através de Pressiômetros Ménard (PMT), durante um programa de investigação geotécnica para o Metrô/DF na Asa Sul.

Os ensaios pressiométricos podem ter seus dados interpretados, quando aplicados à previsão de parâmetros, de forma tradicional ou racional através de soluções analíticas e numéricas.

Deve-se registrar ainda que os ensaios com pressiômetros são muito sensíveis à técnica de instalação, aos procedimentos de ensaio e à metodologia de interpretação.

2.12.1.3.7 Ensaio de palheta (Vane Test)

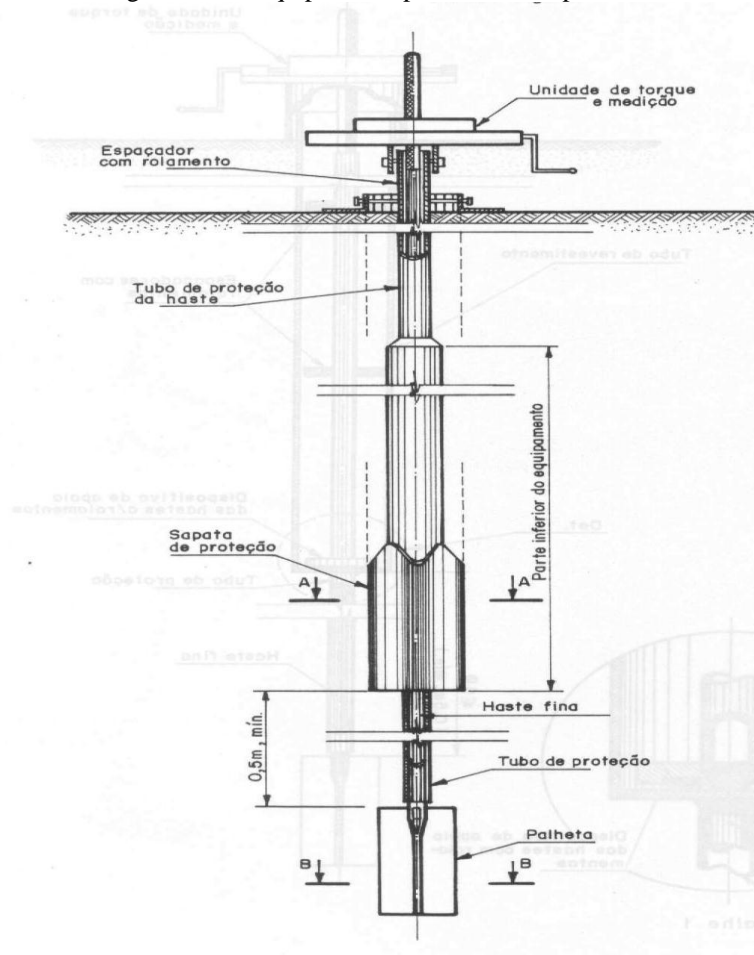
O “Vane Test” foi desenvolvido na Suécia, com o objetivo de medir a resistência ao cisalhamento não drenada de solos coesivos moles saturados. Hoje o ensaio é normalizado no Brasil pela ABNT (1989) NBR 10905/89 (MARANGON, 1997).

O equipamento de realização do ensaio possui uma palheta de aço, formada por quatro aletas finas retangulares, hastes, tubos de revestimentos, mesa, dispositivo de aplicação do momento torsor e acessórios para medida do momento e das deformações (Figura 2.19). O diâmetro e a altura da palheta devem conservar uma relação 1:2 com diâmetros que variam entre 55, 65, e 88 mm. A medida do momento é feita por anéis dinamométricos e vários instrumentos com molas, que registram o momento máximo aplicado.

O ensaio consiste em cravar a palheta e em medir o torque necessário para cisalhar o solo, segundo uma superfície cilíndrica de ruptura, que se desenvolve no entorno da palheta, quando se aplica ao aparelho um movimento de rotação. A instalação da palheta na

cota de ensaio pode ser feita, ou por cravação estática, ou utilizando furos abertos a trado e/ou por circulação de água. No caso de cravação estática, é necessário que não haja camadas resistentes sobrejacentes à argila a ser ensaiada e que a palheta seja munida de uma sapata de proteção durante a cravação. Tanto o processo de cravação da sapata, quanto o de perfuração, devem ser paralisados a 50 cm acima da cota de ensaio, a fim de evitar o amolgamento do terreno a ser ensaiado. A partir daí, desce apenas a palheta de realização do ensaio. Com a palheta na posição desejada, deve-se girar a manivela a uma velocidade constante de $6^\circ/\text{min}$, fazendo-se as leituras da deformação no anel dinamométrico de meio em meio minuto, até rapidamente, com um mínimo de 10 rotações a fim de amolgar a argila e com isto, determinar a sensibilidade da argila (resistência da argila indeformada/ resistência da argila amolgada).

Figura 2.19 – Equipamento para ensaio de palheta.



Fonte: ABNT (1989)

Para o cálculo da resistência não drenada da argila deve-se adotar as seguintes hipóteses: com a drenagem impedida deve fazer o ensaio rápido; ausência de amolgamento do solo, em virtude do processo de cravação da palheta; coincidência de superfície de ruptura

com a geratriz do cilindro, formado pela rotação da palheta; uniformidade da distribuição de tensões, ao longo de toda a superfície de ruptura, quando o torque atingir o seu valor máximo; e solo isotrópico.

2.12.1.3.8 Sondagem rotativa

Sondagem rotativa é um método de investigação geológico geotécnico utilizado para a coleta de informações do subsolo e avaliação da capacidade de suporte para obras, que consiste no uso de um conjunto moto-mecanizado, contínuas e com formato cilíndrico, através da ação perfurante dada basicamente por forças de penetração e rotação que, conjugadas, atuam com poder cortante, com a finalidade de obter amostras de materiais rochosos. A amostra de rocha obtida é chamada de testemunho (DEINFRA, 1994).

Através desse método pode-se indicar o tipo de rocha, grau de alteração, fraturamento, coerência, xistosidade, porcentagem de recuperação, além do índice de qualidade da rocha.

É o equipamento que avança em solos alterados e rocha. Necessário em praticamente todas as obras de porte grande. É chamado sondagem mista quando executado junto com SPT.

São usadas quando se chega a uma camada de rocha ou quando no curso de uma perfuração se encontra solo de alta resistência (blocos ou matacões de natureza rochosa) para se extrair testemunhos (amostra da rocha) objetivando a identificação de discontinuidades do maciço rochoso.

São apresentados em forma de perfil individual do furo, os perfis geológicos do subsolo (boletim de sondagem), baseados na descrição dos testemunhos, considerando:

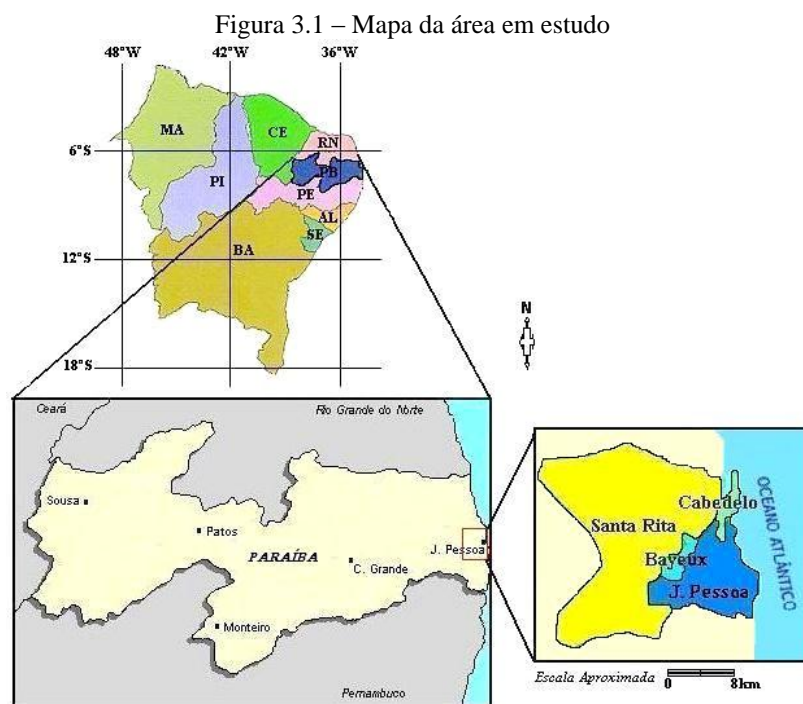
- Classificação litológica
- Estado de alteração das rochas para fins de obras (extremamente alterada a sã)
- Grau de fraturamento (número de fragmentos por metro - %) qualidade da rocha
- RQD (Rock Quality Designation) = recuperação modificada.

O RQD é um dos índices mais utilizados na qualificação de maciços rochosos. Leva em conta a qualidade da rocha em testemunhos de sondagem. É um índice que mede a porcentagem de recuperação da sondagem que considera apenas pedaços de testemunho iguais ou maiores que 10 cm.

O equipamento de sondagem rotativa é composto dos seguintes elementos: tripé, sonda rotativa, bomba d'água, hastes, barriletes, coroas, tubos de revestimento e acessórios.

3 LEVANTAMENTOS EFETUADOS NA ÁREA DE ESTUDO

Para avaliação mais acurada das probabilidades de riscos na execução de fundações profundas que levam em conta a existência de material rochoso de origem calcária para cálculo da resistência dos elementos de fundações, é necessário o levantamento geológico e dos recursos hídricos em toda a área metropolitana da Cidade de João Pessoa, Estado da Paraíba, com uma área aproximada de 1035 km², de acordo com o mapa constante da Figura 3.1.



Fonte: SUDENE (1974a)

A área estudada tem abrangência na parte das Folhas Topográficas de Cabedelo (SUDENE, 1974a) e João Pessoa (SUDENE, 1974b), está geograficamente situada entre os paralelos 6°58' a 7°14' S e meridianos 34°47' a 35°00' WGR, incorpora em seus limites áreas de quatro municípios, entre eles, João Pessoa, Bayeux, Cabedelo, Santa Rita e limitando a leste com a fronteira marítima do Oceano Atlântico. A área localiza-se na zona litorânea do Estado da Paraíba e está inserida na zona fisiográfica da Mata Paraibana (ou Meso Região Canaveira), compondo o espaço territorial da Micro Região Homogênea de João Pessoa.

No desenvolvimento urbano observado atualmente na região da Grande João Pessoa vislumbra-se a caracterização de que as limitações do meio físico não são consideradas quando se analisam as formas de ocupação territorial ao longo do tempo.

Estima-se que próximo de vinte e cinco por cento da população no Estado da Paraíba ocupam a região analisada, onde os projetos de uso e ocupação ocorrem sem planejamento adequado, sobretudo quando objetivados ao incremento em infraestrutura urbana, obras de saneamento, negócios agropecuários, demanda por matérias brutas destinadas ao uso na construção civil e a fortíssima vocação turística.

Em João Pessoa, área onde se pretende concentrar os estudos do presente trabalho, segundo Furrier e Vital (2011), evidências de dolinas são bastante comuns na cidade, mas ainda pouco estudadas. As dolinas, como já estudado, são consideradas depressões fechadas, circulares, associadas a rebaixamento topográfico coadjuvado por fenômenos cársticos de subsuperfície, caracterizando um carste inumado (enterrado). Assim como as encostas e os vales entalhados, as áreas com incidências de dolinas também são alvo da intensa ocupação nas cidades por parte da camada social menos favorecida, tendo em vista serem áreas bastante deprimidas e susceptíveis a enchentes. A partir de então, pesquisas tiveram como objetivo identificar os principais fatores de predisposição do terreno para criação de relevo do tipo carste, exclusivamente afeto às dolinas e aos riscos associados. Para isso, foram levantados dados sobre o embasamento geológico a partir do mapa geológico do Estado da Paraíba, e informações sobre a morfologia do terreno, coletadas a partir do radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), além das observações de campo. Como produto obtiveram-se os Modelos Digitais do Terreno por meio dos quais se tornou possível realçar as evidências de subsidência do relevo local, corroborado pelas informações sobre a geologia local, marcada por uma intensa interação dinâmica entre as Formações Barreiras e Gramame (Sub-bacia Sedimentar Alhandra). Concluiu-se que os planos de falha existentes nos calcários da Formação Gramame contribuem de forma conspícua para percolação da água nessa formação, perfazendo uma reação química capaz de dissolver o calcário, rebaixando a Formação Barreiras que se encontra sobreposta, dando origem às depressões circulares.

Em função da morfologia aproximadamente circular e topograficamente rebaixada, e com a existência do Calcário Gramame soto-posto, tem-se o entendimento de que a existência de depressões é decorrente de processos cársticos desenvolvidos no subsolo. Portanto, é razoável admitir que elas sejam decorrentes da dissolução e/ou do afundamento do teto de cavernas existentes no calcário sotoposto, constituindo conseqüentemente dolinas. Essas depressões ou dolinas, por serem bacias fechadas e se assentarem em rocha de constituição arenoargilosa, constituem pontos de recarga natural dos aquíferos.

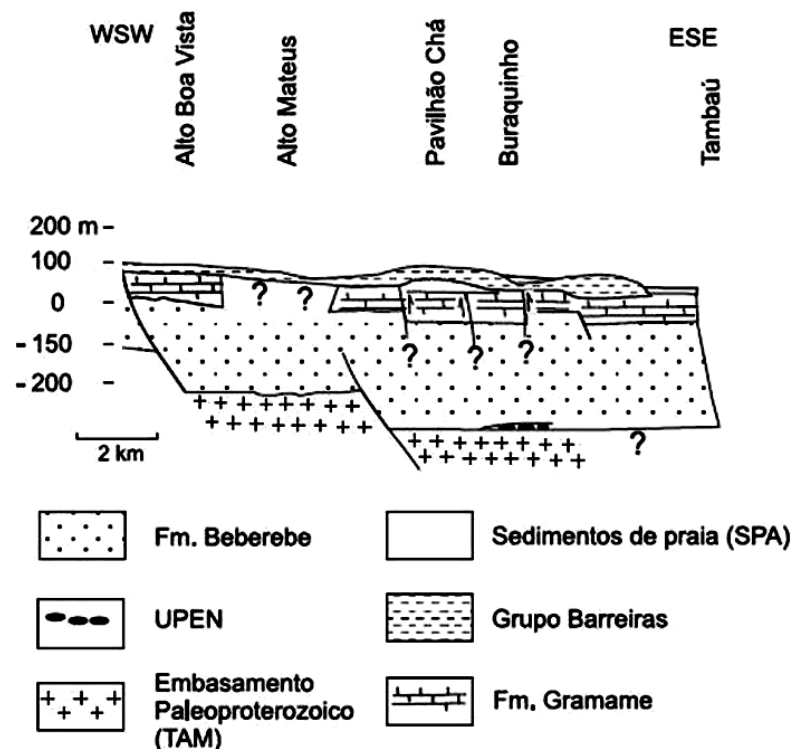
A formação de depressões fechadas, circulares, provavelmente associadas ao rebaixamento topográfico coadjuvado por fenômenos cársticos da parte superior da superfície,

caracterizando uma dolina, é um fenômeno que merece maior atenção e aprofundamento por parte dos estudos geomorfológicos, sobretudo em áreas urbanas densamente ocupadas.

A disposição dos calcários na área metropolitana de João Pessoa apresenta estratificação sub-horizontal, não muito pronunciada, grosseira, em bancos ou então formando massas compactas, que apresentam fraturamentos e dissolução subterrânea (LUMMERTZ, 1977). Estes planos de falha contribuem para percolação da água desencadeando uma reação química capaz de dissolver lentamente o calcário, dando origem a dolinas de dissolução (Figura 3.2).

Bigarella (1994) destaca a importância do papel da circulação da água subterrânea nas juntas e fraturas da rocha calcária, relacionando as estruturas com as feições superficiais do relevo cárstico. Em diversas regiões da cidade de João Pessoa foram descritas outras superfícies rebaixadas, mas sem estudos pormenorizados e quantitativos.

Figura 3.2 – Seção geológica na porção Alto da Boa Vista para a praia de Tambaú região metropolitana de João Pessoa



Fonte: Bigarella(1994)

Estas feições podem ser denominadas como bacias fechadas, pelo fato de que, o escoamento superficial que se acumula em seu interior, não se comunica por meio de uma rede superficial com outros cursos d'água. No entanto, tipicamente, possuem a competência

de criar ressurgências nas adjacências, formando pequenos fluxos de água conectando-se aos rios e riachos mais próximos.

As informações sobre a geologia e tectônica do terreno da área metropolitana de João Pessoa serviram como base inicial para levantamento desta hipótese, tendo em vista as características litológicas e geotectônicas da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, onde se encontra a Formação Gramame, e sobreposta a ela, a Formação Barreiras, capeadora desta bacia.

Estas informações apontam para um caminho que nutre a possibilidade de outros estudos ainda mais aprofundados, destacando a importância deste fato para o planejamento territorial e urbano da cidade de João Pessoa, que tem grande parte de sua área assentada sobre a Formação Barreiras sobreposta aos calcários intensamente falhados da Formação Gramame.

É importante ressaltar que a expansão urbana sobre essa área representa um risco à população, devido às características geomorfológicas e geotécnicas associadas às áreas de dolina.

A identificação do substrato rochoso da área de estudo é parte fundamental, dadas as suspeitas da ocorrência de graves problemas futuros no conjunto de empreendimentos construídos na área de estudo, basicamente tendo como suporte uma camada de rochas calcárias totalmente passíveis da ocorrência de dissoluções geradoras dos possíveis aparecimento de dolinas que comprometeriam a estrutura dessas construções. Esta preocupação justifica o levantamento geológico da área para avaliação desses riscos e recomendações aos órgãos encarregados da gestão e acompanhamento dos empreendimentos localizados na região.

3.1 Levantamento Geológico e Geotécnico

Na ausência de tempo suficiente para um levantamento detalhado “in loco” de toda a área em estudo, optou-se por aproveitar estudo efetuado anteriormente por outros pesquisadores. No presente caso, serão usados os levantamentos de três trabalhos efetuados por Tuma (2004), que produziu um conjunto de mapas e cartografias das características litográficas da região analisada, por Soares (2011), que fez um banco de dados interligados com sistema de informações geológicas da área sob estudo, e por Araújo (2012), que desenvolveu estudos do subsolo através da perfuração de poços na região central de João Pessoa. Estes parecem ser os melhores e mais completos estudos para identificação do

substrato rochoso local, que possa ter influência direta na estruturação da expansão imobiliária da Grande João Pessoa. Nesses trabalhos foram desenvolvidos estudos e mapeamentos geotécnicos e a formulação de bancos de dados contemplando toda a região situada na porção leste do Estado da Paraíba.

Estes trabalhos estudaram a área localizada na zona litorânea do Estado da Paraíba, a qual se insere na zona fisiográfica da Mata Paraibana, ou Mesorregião Canavieira, redundando no espaço territorial da Microrregião Homogênea de João Pessoa. Ela abrange a parte central da baixada litorânea e dos tabuleiros costeiros e um trecho importante da várzea do rio Paraíba, conforme mostra a Figura 3.3.

Figura 3.3 - Imagem de satélite da região da Grande João Pessoa



Fonte: Tuma (2004)

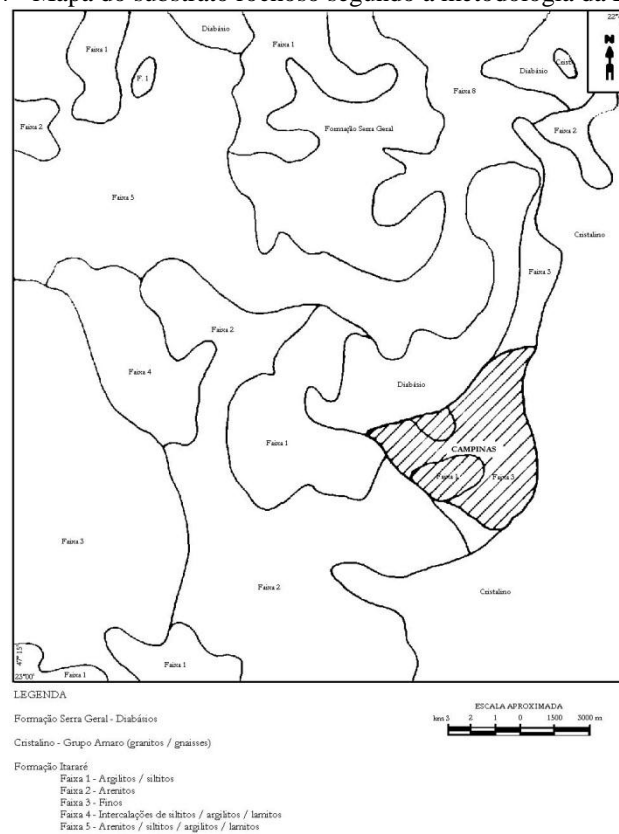
Os principais fatores condicionantes do uso e ocupação do solo pelo meio antrópico são as características geológicas, assim considerados os tipos litológicos, modos de ocorrência, discontinuidades e outros atributos, características geomorfológicas, como as formas e a dinâmica do relevo, processos geodinâmicos internos e externos e as características geotécnicas dos terrenos, em função das propriedades dos solos e rochas, além do clima, que compõem o meio físico (LIPORACI; CALIJURI; ZUQUETE, 1996).

Não se pode descurar, entretanto, que continuam sendo os resultados de estudos geotécnicos que avaliam as condições para fundações de terra, tornando-se um guia útil para

planejar o espaço urbano, quando relacionado com os trabalhos técnicos de construção. (TISIAMBAOS *ET AL.*, 1997).

A implantação e manutenção das construções e crescimentos urbanos têm sido sempre confrontadas com vários tipos de instabilidade geomorfológica geotécnica: deslizamentos, desmoronamentos e ravinamentos nas encostas; enxurradas violentas em rampas; inundações e solapamentos de barrancos nas planícies e terraços baixos (SAADI; COSTA; CAMPOS, 1992). Mas, existem outras ocorrências que são bem mais graves, porém imperceptíveis, como os dolinamentos, que necessitam de mais atenção nas análises, pois, na maioria das vezes não são detectadas pelos métodos comuns de investigação. Nestes casos, os conhecimentos das propriedades geológicas dos materiais existentes no subsolo, podem alertar para a possibilidade de ocorrências da espécie e provocar uma investigação mais acurada da localidade onde se pretenda implantar as obras de construção civil. Na Figura 3.4 abaixo é apresentado um modelo de mapa de extrato rochoso.

Figura 3.4 - Mapa do substrato rochoso segundo a metodologia da EESC-USP.



Fonte: Zuquette e Gandolfi (1990).

Schmidt (1994) diante da diversidade de bens minerais produzidos na região dividiu-os em dois grupos, segundo suas aplicações, caracterizando, de forma genética, materiais primários de construção e materiais industriais não metálicos. Entre os materiais

primários de construção, destacam-se areias e cascalhos, associados ao núcleo urbano, de extração quase sempre não planejada que conduz ao subaproveitamento da jazida devido a limitações espaciais e operacionais impostas pela expansão urbana. Os considerados minerais industriais não metálicos são a argila, areia para fins de construção civil, calcários e dolomitos para cal e produção de cimento.

A mineração em área urbana de maior destaque dentro da região ocorre através da lavra de calcário para fabricação de cimento Portland e uso em fundações rasas de pequenas construções.

Os materiais de construção (entre os quais areia, argila e rocha calcária britada, laminada e em blocos), pelo volume utilizado e pelo baixo valor unitário, são produzidos bem próximos ao centro consumidor, no entanto, vale ainda lembrar a questão tecnológica: essas lavras, muitas vezes, são conduzidas com recursos tecnológicos insuficientes, e daí os impactos ambientais intoleráveis (CARVALHO, 1999).

3.1.1 Grupo Paraíba

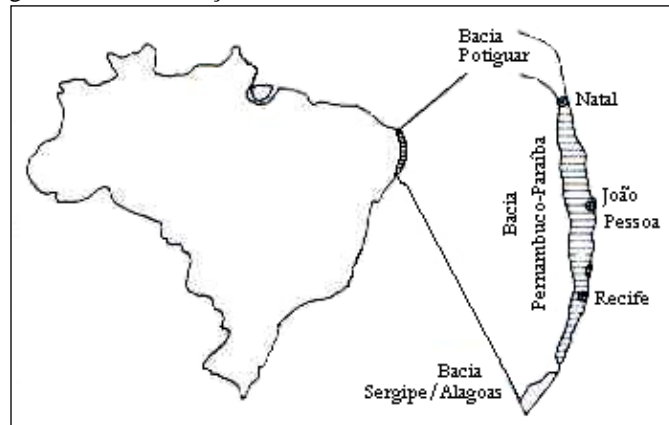
A região estudada é parte integrante do compartimento da Província Costeira (Dantas *et al.*, 1982), representando a bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba (Grupo Paraíba) de Mabesoone e Alheiros (1988), como observado na Figura 3.5.

A Bacia Pernambuco-Paraíba, segundo Santos et al. (2002), representa uma sedimentação estuarina e lagunar, passando a plataformal, no intervalo entre o Santoniano e Maastrichtiano, ligada à abertura do Oceano Atlântico sul. Após a formação dessa bacia, o subsolo paraibano passou a se comportar como uma plataforma estável, havendo apenas a formação de coberturas continentais interiores e costeiras e a deposição de formações superficiais, relacionados com eventos de denudação das cadeias pré-cambrianas.

Conforme Assis (1985), esta área encontra-se coberta por uma sequência sedimentar cenozóica, constituída por litologias do Terciário, representado pelo Grupo Barreiras, e do Quaternário, por aluviões e sedimentos de praia mostrado na Figura 3.6.

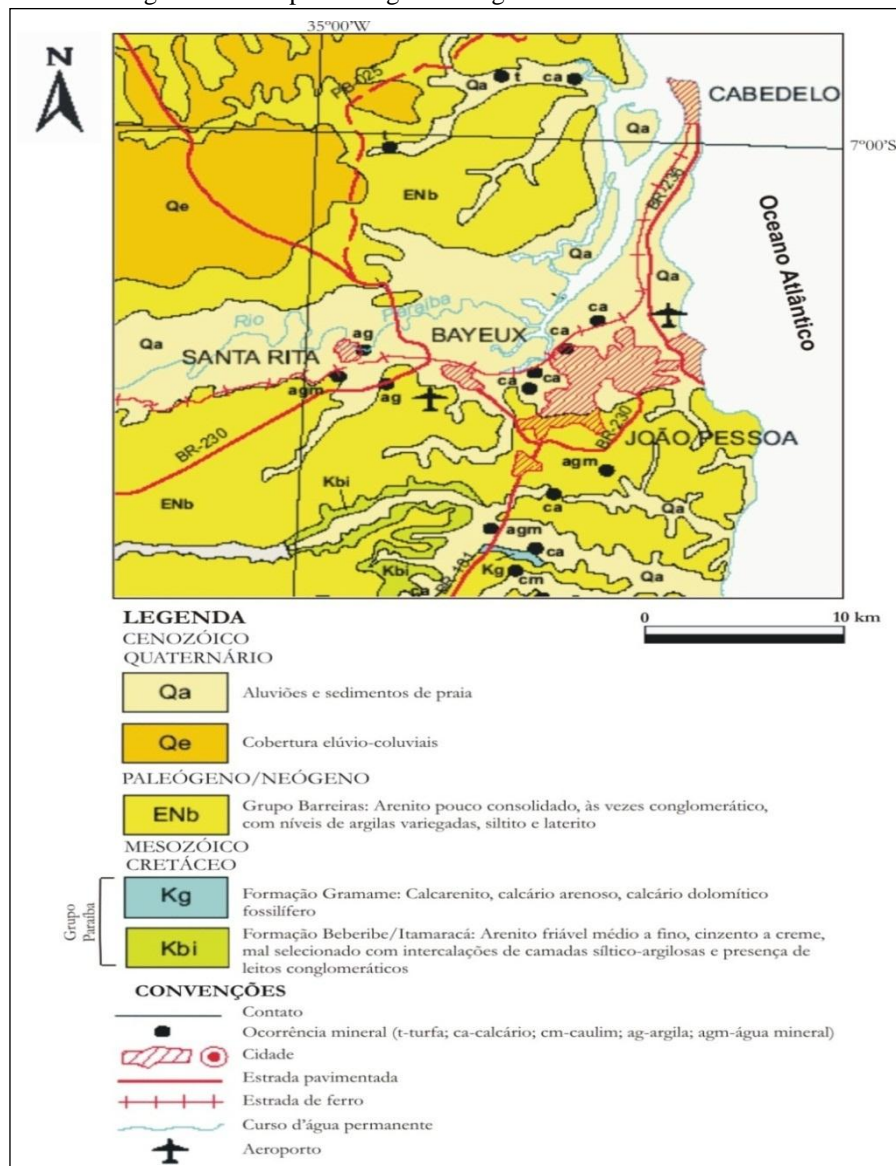
Brasil (1981) diz que a sedimentação forma um ciclo onde se destacam basicamente duas fácies principais: fácies continental – arenitos com intercalações subordinadas de argilitos e folhelhos; e fácies marinha – calcários e margas (calcário com alto teor de argila), com arenitos carbonáticos e fosforitos da Formação Gramame. Essa faixa sedimentar é recoberta por sedimentos do Grupo Barreiras, em discordância erosiva.

Figura 3.5 - Localização da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba



Fonte: Mabesoone e Alheiros (1988).

Figura 3.6 - Mapa Geológico da região da Grande João Pessoa.



Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2002).

Os estudos desenvolvidos por Tuma (2004) concluíram que entre as unidades litoestratigráficas mapeadas têm-se os calcários calcíticos e dolomíticos da Formação Gramame, as intercalações de siltitos, arenitos e cascalhos do Grupo Barreiras e os sedimentos arenosos e argilosos de deposição recente. A área possui natural vocação para materiais de construção, mas a prática da atividade ilegal da mineração para extração de rochas calcárias vem contribuindo para a degradação ambiental nessa região.

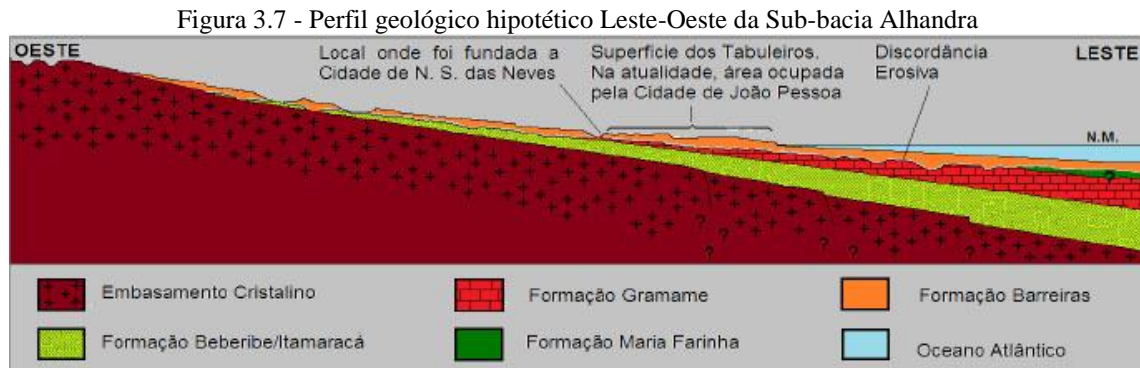
Segundo Soares (2011), regionalmente, a área de estudo está inserida no contexto geológico da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, que ocupa uma extensa faixa ao longo do litoral dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. As principais unidades geológicas presentes na região de João Pessoa são constituídas, basicamente, de sedimentos inconsolidados recentes de origem fluvial e marinha e de rochas sedimentares brandas, abrangendo os períodos geológicos Holoceno a Cretáceo (MABESOONE; ALHEIROS, 1988; BORGES, 2004).

A região costeira paraibana é integralmente recoberta por esses sedimentos modelados na forma de baixos planaltos (tabuleiro) e que, ao longo do litoral constituem vertentes abruptas elaboradas por ação marinha (falésias). Ocorrem geralmente até 50-60 km do litoral, recobrando a oeste as rochas do embasamento cristalino, para depois, mais a leste, sobrepor-se às camadas da Bacia Sedimentar Paraíba. Toda a base dessa formação repousa, através de uma discordância erosiva, sobre as rochas sotopostas.

Araújo (2012) mostra que a Bacia Sedimentar Paraíba é constituída por três camadas ou unidades estratigráficas distintas em termos de litologia e/ou conteúdo fossilífero. As camadas litológicas dessa bacia têm comportamento inclinado em ângulo constante para leste, e são constituídas a partir da base por três formações geológicas denominadas de Beberibe/Itamaracá, Gramame e Maria Farinha, como pode ser visto na figura 3.7. Na literatura geológica esse conjunto de formações é comumente referenciado como Grupo Paraíba.

Da mesma forma como estudado por outros autores, Tuma (2004) também levantou que a área de trabalho encontra-se inserida na província geomorfológica da Planície Costeira, e também faz parte integrante da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, caracterizadas pelas seguintes unidades litoestratigráficas: a Formação Gramame (ocupa 1% da área) que faz parte do Grupo Paraíba, do Cretáceo, representada por calcários argilosos depositados em ambiente marinho raso; o Grupo Barreiras (representa 70% da área total), do Cenozóico, constituído predominantemente por siltitos, argilitos, arenitos argilosos e cascalhos depositados em ambiente continental; e os depósitos do Quaternário (abrangem

29% da região) representados por coberturas inconsolidadas de colúvio, aluviões, areias de praia, sedimentos de mangue, bancos de areia, restingas, e a presença dos recifes alinhados à linha de costa.



Fonte: Araujo (2012). Esboço de um perfil hipotético mostrando a Formação Barreiras recobrendo de forma indistinta as rochas do Embasamento Cristalino e as camadas da Bacia Sedimentar Paraíba em área com latitude próxima ao local onde foi fundada a Cidade de Nossa Senhora das Neves. As interrogações representam incertezas na representação dos fatos.

3.1.1.1 Formação Beberibe

A unidade litoestratigráfica basal da Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba é denominada de Formação Beberibe. Essa unidade é representada por um espesso pacote de arenitos com granulação variável e com espessuras médias de 230 a 280 m, e máxima de 360 m (LEAL; SÁ, 1998).

A Formação Beberibe/Itamaracá corresponde a uma camada predominantemente constituída por arenitos, de granulação média a grossa, podendo, por vezes, ser conglomerática. Constitui a camada de base do Grupo Paraíba, repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino e tem em média espessura de camada da ordem de 250 m, podendo chegar a um máximo de 360m (LEAL; SÁ, 1998).

3.1.1.2 Formação Gramame

Superposta à Formação Beberibe, repousa, de forma concordante, a Formação Gramame. Essa unidade carbonática de ambiente marinho raso possui espessura média inferior a 55 m, dos quais mais de dois terços são representados por calcários argilosos cinzentos (LEAL; SÁ, 1998). Esta camada foi depositada a partir da subsidência lenta do

continente e consequente elevação do nível do mar no Cretáceo Superior, há aproximadamente 65 milhões de anos.

A transição dos arenitos da sequência Beberibe/Itamaracá para a formação sobreposta ocorre de forma gradativa ou interdigitada, o que indica movimentos oscilatórios em trechos da costa durante a deposição da Formação Gramame (BEURLIN, 1967a).

Estudos de Wanderley, Siqueira e Caldasso (1983) confirmaram que o maior potencial para área investigada é composto por jazimentos não metálicos, como os depósitos de calcário e fosfato, relacionados com os sedimentos costeiros e encaixados nas diversas unidades do Pré-Cambriano. Destacam-se os calcários da Formação Gramame, originados na transgressão marinha do Cretáceo, os fosfatos do norte de Alhandra/PB, com espessura média de 1 m, cuja associação mineral mais comum é de fosforita, argilas e quartzo, e as argilas encontradas nas proximidades dos grandes centros urbanos.

A Formação Gramame, representada por pacote sedimentar pouco espesso, predominantemente calcário, inicia-se com arenitos calcíferos a calcarenitos, passando gradativamente para calcários e dolomitos. Seus afloramentos são importantes, mas situam-se fora da área da Bacia do Jaguaribe, aflorando ao norte de João Pessoa nas pedreiras da fábrica de cimento CIMEPAR. A denominação dessa formação foi dada por Oliveira (1940), citado por Dantas (1980), para melhor definir as ocorrências de calcários margosos, assim considerados os que possuem teor de argila superior ao de carbonato de cálcio, no vale do Rio Gramame. Com espessura média de 50 metros, é composta por calcários dolomíticos arenosos, com horizontes fosfáticos, sendo bastante explorada para lavra de cimento.

A formação Gramame tem espessura média entre 40 e 50 metros (LEAL; SÁ, 1998), podendo, às vezes, chegar a 70 metros (ALMEIDA, 2000), nas áreas mais a leste. Ocorre, em média, até cerca de 20 Km do litoral, onde progressivamente, tende a apresentar espessuras mais delgadas, entre 2 e 4 metros. É essencialmente constituída por calcários, calcários margosos e margas, compreendido aqueles com alto teor de argila, e é bastante fossilífera. As observações feitas em afloramentos, em amostras obtidas em poços, e através de seu conteúdo fossilífero, apontam no sentido de esses sedimentos terem se formado em ambiente de plataforma rasa, com energia entre baixa a moderada. As datações realizadas nessa rocha apontam para uma idade Maastrichiana (BARBOSA, 2007), o que corresponde a um período de cerca de 70 a 65 milhões de anos atrás.

Entre as potencialidades dos recursos naturais no espaço geográfico em estudo, foram identificados entre quatro grupos de recursos potenciais, os quais são: calcário, areia, argila e água mineral (SUDEMA, 1996), o calcário da Formação Gramame que é explorado

no município de João Pessoa, utilizado diretamente na construção civil e nas indústrias de fabricação de cimento.

Segundo Santos *et al.* (2002) o calcário é uma das substâncias de maior importância para o Estado da Paraíba. Os calcários sedimentares têm sua área de ocorrência restrita à faixa litorânea, sendo representados por camadas sub-horizontais da Formação Gramame, de idade Maastrichtiana. São calcáriosossilíferos de granulometria fina, coloração creme, cinza escura na superfície e apresentam intercalações margosas, ou seja, calcários com alto teor de argila.

Jaboatam (1861) faz menção ao material duro existente na base da colina - o calcário. Esta rocha constitui uma camada que se projeta por toda costa paraibana e geralmente aflora nos sopés de encostas, áreas falhadas e dissecadas. Observar na Figura 3.8 afloramentos desse calcário ao Sul da cidade de João Pessoa.

A fase final de deposição da Formação Gramame é caracterizada pela redução da fauna de invertebrados, com tendência regressiva do nível do mar e deposição de sedimentos terrígenos. Esses fatos respondem pela existência de uma discordância no topo da Formação Gramame, na porção da bacia que ficou emersa (BARBOSA, 2004). Essa discordância constituirá importante elemento no processo de acumulação de água subterrânea na camada arenítica da Formação Barreiras, unidade estratigráfica que recobre todos os sedimentos do Grupo Paraíba. Este aspecto, mais a existência dos afloramentos das rochas da Formação Gramame, na porção oeste do município de João Pessoa, local onde foi fundada a cidade, deu suporte de água potável para manutenção da população no local, e de rocha calcária para cantaria, fabricação da cal ou como pedra bruta para construção da cidade.

Através dos poços perfurados sobre o tabuleiro, Araújo (2012) observou que o calcário constitui um estrato de comportamento aproximadamente uniforme na base e na capa da camada, com espessura entre 40 e 50 metros. Nos perfis com disposição transversal, que são aqueles com posicionamento aproximado leste oeste, as bandas da camada do calcário posicionada mais para o ocidente, ou seja, mais próxima ao Rio Sanhauá, têm capa em posição topográfica mais baixa que seu equivalente sob o tabuleiro. Por outro lado, também, apresentam menor espessura, evidenciando desgaste por ação erosiva na capa.

Segundo Tuma (2004), a litologia da Formação Gramame está representada por rochas carbonáticas, com predominância de rocha calcária, e aparecimento secundário de rocha dolomítica. Estas rochas são importantes matérias primas para a indústria cimenteira, e também são usadas na construção civil como agregados para concreto. A exploração destas rochas concentra-se nas áreas urbanas por empresas clandestinas que operam utilizando

explosivos sem os cuidados técnicos exigidos ocasionando incômodos de natureza visual e psicológica às habitações circunvizinhas decorrentes das detonações sem monitoramento que resultam em vibrações, ruídos e ultralaçamentos

Figura 3.8 – Mapa geológico da área de estudo e entorno.



3.1.1.3 Formação Maria Farinha

A Formação Maria Farinha representa a continuação da sequência calcária da Formação Gramame, sendo diferenciada apenas pelo seu conteúdo fóssilífero, que é considerada de idade paleocênica/eocênica inferior (MABESOONE, 1994). Esta apresenta

espessura máxima de 35 m, provavelmente erodida em parte pela exposição subaérea anterior à deposição dos sedimentos continentais da Formação Barreiras (LEAL; SÁ, 1998).

A Formação Maria Farinha – também famosa por suas pedreiras de calcário – apresenta espessuras reduzidas, constituída por bancos de calcário detrítico, cinzentos e cremes, com intercalações de marga e argilitos cinzentos, como a Formação Gramame, está sobreposta à Formação Beberibe, já descrita anteriormente, e sotoposta ao Grupo Barreiras. Encontra-se ausente na área sob estudo, embora os seus afloramentos sejam frequentes a partir da praia de Jacumã, Município do Conde que faz parte da grande João Pessoa, até a praia de Graú. Trata-se de uma formação que apresenta uma sequência de calcários detríticos pouco espessos, descontínuos e argilosos, cuja denominação, segundo Dantas (1980) e Maciel (1980) foi utilizada inicialmente por Euzébio de Oliveira, em 1940, para caracterizar o calcário fossilífero que ocorre ao norte de Recife. Sua espessura máxima fica em torno de 30 m, provavelmente devido ao truncamento da sequência pela erosão pré-barreiras.

O calcário da Formação Maria Farinha corresponde à última unidade litoestratigráfica da Bacia Sedimentar Paraíba. Constitui continuidade deposicional da Formação Gramame, diferenciando-se em termos de seu conteúdo fossilífero e por apresentar maior concentração em magnésio - calcário dolomítico. Trata-se de sequência de caráter regressivo e de idade Paleocena (MABESOONE, 1967), o que representa um período deposicional entre 65 e 55 milhões de anos atrás. Sua ocorrência é restrita às sub-bacias Alhandra e Olinda. Na Paraíba, aflora apenas no litoral sul, mais precisamente, no município do Conde, entre as praias do Amor e de Tambaba, conferindo a esse trecho do litoral paraibano características morfológicas diferenciadas das outras praias paraibanas (FURRIER, 2007).

3.1.1.4 Formação Barreiras

A Formação Barreiras, ao longo da costa brasileira, constitui a unidade geológica mais contínua e representativa existente entre os Estados do Amapá e do Rio de Janeiro. Ela é basicamente constituída por sedimentos de origem continental, oriundos da ação do intemperismo e de ciclos denudacionais ocorridos no interior do continente após a abertura do Atlântico, momento em que as bacias hidrográficas existentes foram reconfiguradas e rebaixadas com relação a esse novo nível de base regional (MABESOONE; CASTRO, 1975). No estado da Paraíba, este embasamento é composto pelas rochas cristalinas do Planalto da Borborema. Gopinath et al. (1993) em análises sedimentológicas realizadas na Formação

Barreiras, no estado da Paraíba, constataram que as fontes dos sedimentos seriam granitos, gnaisses e xistos, que são litologias predominantemente do Planalto da Borborema.

A constituição dessa formação é essencialmente detrítica e pouco litificada. Geralmente é formada por material arenoargiloso, intercalado por níveis argilossiltosos, arenosos, conglomeráticos e ferruginosos, em acamamento mal definido. As alternâncias verticais e laterais são marcantes, podendo faltar horizontes a curta distância. Nas falésias, onde estão os afloramentos mais abrangentes dessa formação, níveis diferenciados se interpenetram, formando, em associação com a diversidade de cores, um aspecto mosqueado, que oscila em tons que vão do branco ao marrom. Essa diversidade de cores e texturas está relacionada ao material genético e aos processos intempéricos e pedológicos ocorridos sobre esses sedimentos (ARAÚJO, 1992).

O Grupo Barreiras constitui uma cobertura sedimentar terrígena continental e marinha (ARAI, 2006), de idade miocênica a pleistocênica inferior (SUGUIO; NOGUEIRA *ET AL.*, 1999; VILAS BOAS; SAMPAIO; PEREIRA *ET AL.*, 2001). O Grupo Barreiras, por ser praticamente destituído de vestígios fósseis, possui previsão do tempo de origem dificultada (datação). Em todo caso, em que se pesem as dúvidas sobre a origem do referido grupo, considera-se que, pelo menos a última grande mobilização de seus sedimentos, parece ser mais recente que o Mioceno. Para endossar a evidência, encontram-se repousando sobre os depósitos marinhos cretácicos do Recôncavo Baiano (VILAS BOAS, 1996), bem como em Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Pará, Maranhão e Rio Grande do Norte.

A espessura da Formação Barreiras no Estado da Paraíba pode chegar a cerca de 80m (LEAL; SÁ, 1998). No município de João Pessoa a espessura média é da ordem de 40m, podendo alcançar um máximo de 50m, em algumas áreas da porção centro-sul da atual cidade. As menores espessuras ocorrem na porção oeste e norte do sítio inicial da cidade, onde chega a ter largura entre 20 e 30 metros. Fora essas médias, que foram feitas com referência aos topos dos tabuleiros, apenas nos vales fluviais ocorrem espessuras menores ou inexistente essa formação, aflorando o calcário sotoposto de Formação Gramame. É o caso, por exemplo, da porção oeste do município de João Pessoa, local onde foi iniciada a cidade de Nossa Senhora das Neves (Figura 3.7).

3.2 - Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo realizados por Tuma (2004) priorizaram o levantamento dos atributos relacionados com as características geotécnicas mais relevantes dos materiais, e essenciais para a classificação espacial das unidades do terreno, mediante o controle das observações de campo abrangendo cento e dezessete (117) pontos visitados. Entre os pontos de observação destacam-se: corte de estradas, leitos de rios, perfis de encostas, áreas de empréstimos, pedreiras, locais de disposição de rejeitos, bem como pequenas e médias minerações situadas em área urbana.

Ao longo da pesquisa de Soares (2011), foram feitas etapas de campo na cidade de João Pessoa (PB) com visitas a empresa fornecedora dos dados. Além da Concesolo (empresa disponibilizadora das sondagens), também foi visitada a Copesolo – Estacas e Fundações Ltda., empresa do município que desenvolve e executa projetos geotécnicos incluindo as principais obras de fundações. Realizaram-se reuniões com checagem dos dados e sugestões de abordagem segundo um contexto de prática geotécnica local (ex: camadas de solo mais importantes, como trechos de argila mole e o alcance do calcário como impenetrável ao amostrador em certos pontos).

Soares (2011) usou a aplicação e avaliação de métodos determinísticos e probabilísticos de interpolação das profundidades do nível d'água (lençol freático ou livre) e dos valores de NSPT obtidos nas sondagens à percussão. Objetivo geral proposto foi a estruturação de um banco de dados em SIG com variáveis espaciais de natureza geológico geotécnica obtidas em furos individuais de sondagens à percussão com ensaio Standard Penetration Test (SPT). Após alcançar um número razoável de informações inseridas no banco de dados e depois de uma etapa de realização de interpolações das principais variáveis, contou profissionais geotécnicos da área de estudo para sessões de consulta, discussões e análises com respeito aos dados e produtos reunidos e gerados, os quais realizaram discussões dos resultados e análises dos modelos interpolados de acordo com a experiência local e de projetos de obras de fundações mais realizados no município.

A Figura 3.9 apresenta um esquema com a distribuição das sondagens que foram inseridas no banco de dados criados por Soares (2011), e identificadas as utilizadas nas interpolações e modelagens espaciais.

Foi possível localizar sondagens em quase todos os setores do município, entretanto, observa-se uma diferença significativa de concentração e ocorrência dos furos na

distribuição dos mesmos na área. Em função disso, das 705 sondagens inseridas no banco, somente 529 foram efetivamente utilizadas nas etapas de interpolação e modelagens, uma vez que as 139 restantes encontravam-se com distâncias maiores entre si do que do resto do grupo que apresentou a maior densidade por área.

Observa-se que as curvas interpoladas apresentam traçados razoavelmente coincidentes com os das curvas de nível da base topográfica original. Além disso, a maioria das curvas intermediárias geradas também apresenta um traçado compatível com a base topográfica de entrada.

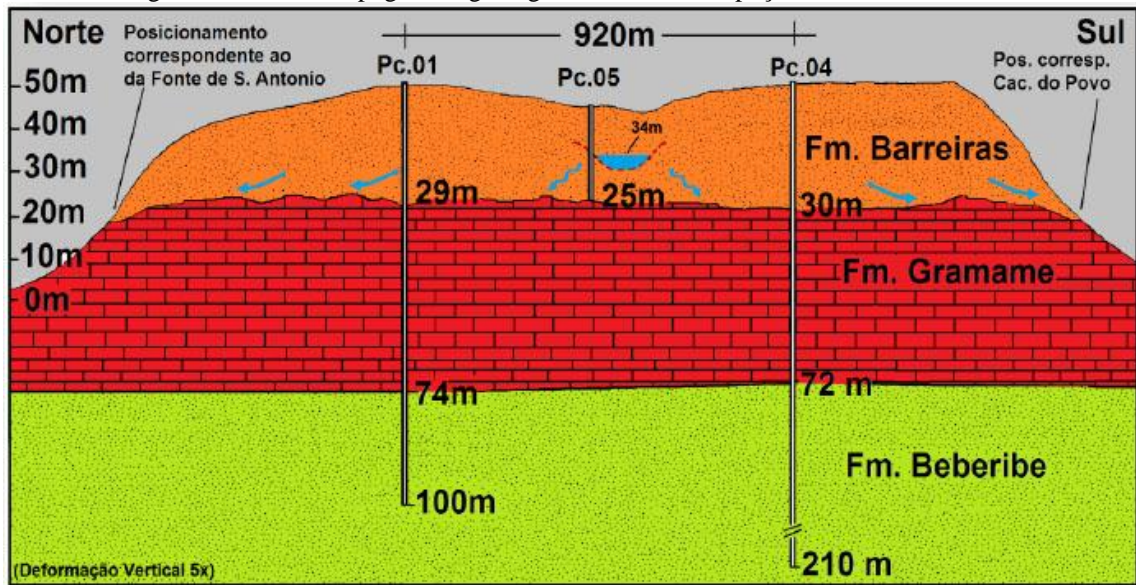
Araújo (2012), através da perfuração de poços, como mostrado nas Figuras 3.10 a 3.14, mostra os perfis litológicos do subsolo nos locais de perfuração e as profundidades encontradas dos diversos tipos de material referente às formações Beberibe, Gramame e Barreiras e de sedimentos recentes, dando uma boa ideia da localização dessas camadas na área de estudo.

Nos trabalhos de campo feitos por Araújo (2012), que usaram a perfuração de poços na região original de implantação da cidade de João Pessoa como forma de avaliar o comportamento do subsolo da região de interesse, foi possível observar que as fontes de água Santo Antônio e Cacimba do Povo estão assentadas diretamente sobre o calcário. Na dos Milagres, em função da pavimentação, o calcário não foi observado no seu entorno. Porém, é sabido que o mesmo ocorre abundantemente na região dos Tanques, área que se localiza a cerca de setenta metros dessa fonte.

Na área onde outrora existia a fonte do Gravatá, que era a de posicionamento mais a oeste, dentre as outras localizadas nessa área, o calcário também não foi observado. Toda área de seu posicionamento e do entorno é atualmente pavimentada ou construída. Mesmo se o local não estivesse artificialmente revestido, dificilmente os calcários estariam aflorantes, em função dos sedimentos produzidos a montante, transportados através de um dos paleocanais e depositados na área recobrimdo todos os possíveis afloramentos dessa rocha.

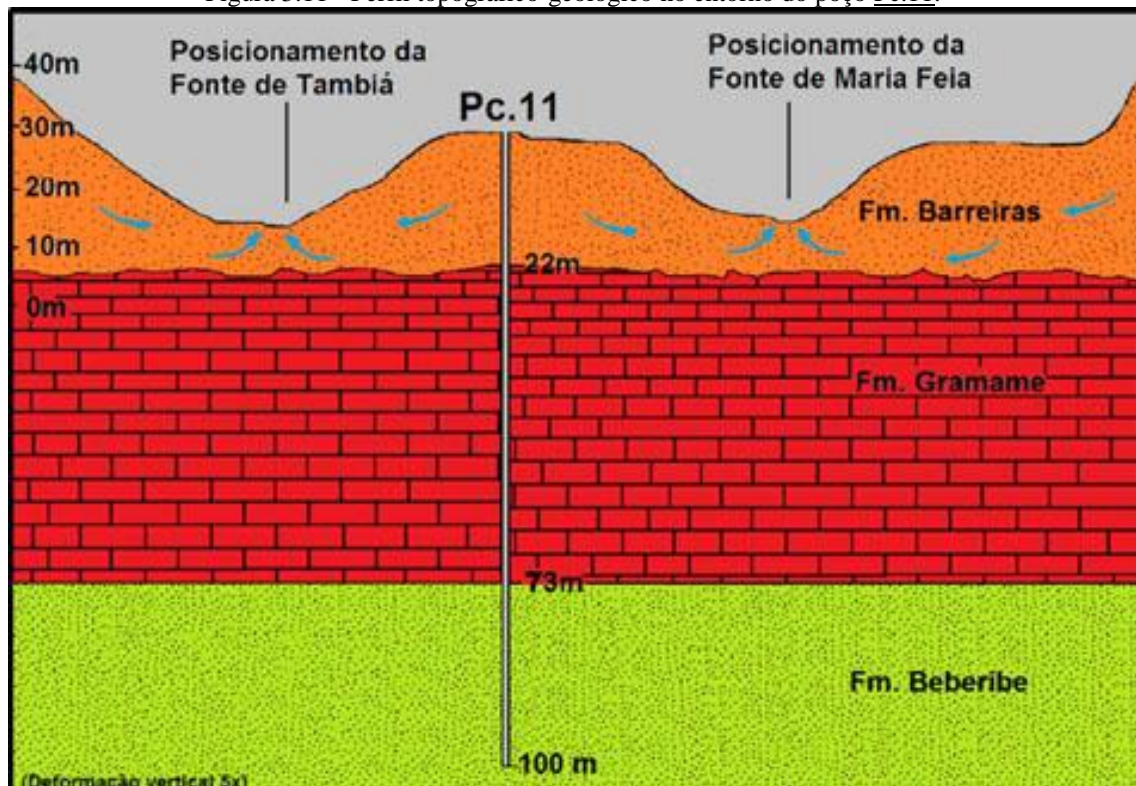
Segundo Tuma (2004) o mapeamento geotécnico é reconhecido como instrumento de suporte para o desenvolvimento urbano, tendo em vista que ele colabora para a compreensão dos comportamentos e transformações do meio físico, geradas pela ocupação humana sem planejamento, buscando estabelecimento do equacionamento e resolução de problemas sociais e ambientais concernentes à integração necessária entre a urbanização e o meio físico. Através do mapeamento geotécnico são gerados documentos de grande importância para orientar esse planejamento, uma vez que retratam as principais características e variações dos componentes do meio físico. O mapeamento geotécnico

Figura 3.10 - Perfil topográfico-geológico no entorno do poço Pc.01, Pc.05 e Pc.04.



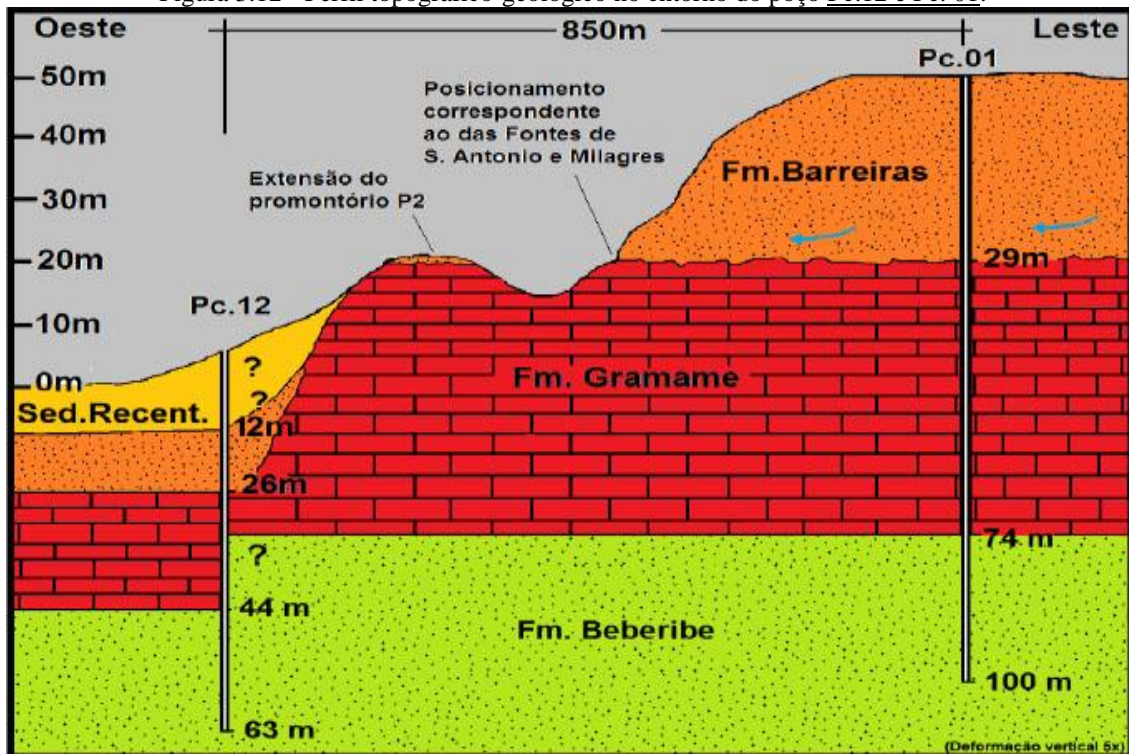
Fonte: Elaborado por Araújo (2012). Observar comportamento homogêneo da camada do calcário. A linha tracejada de cor vermelha corresponde ao perfil da lagoa do Parque Sólton de Lucena rebatida sobre o plano do perfil. A superfície azul referenciada pela cota de 34m corresponde ao nível da lagoa, e as setas de mesma cor representam o fluxo da água subterrânea no sentido das bordas do tabuleiro, área onde se localizam as ressurgências

Figura 3.11 - Perfil topográfico-geológico no entorno do poço Pc.11.



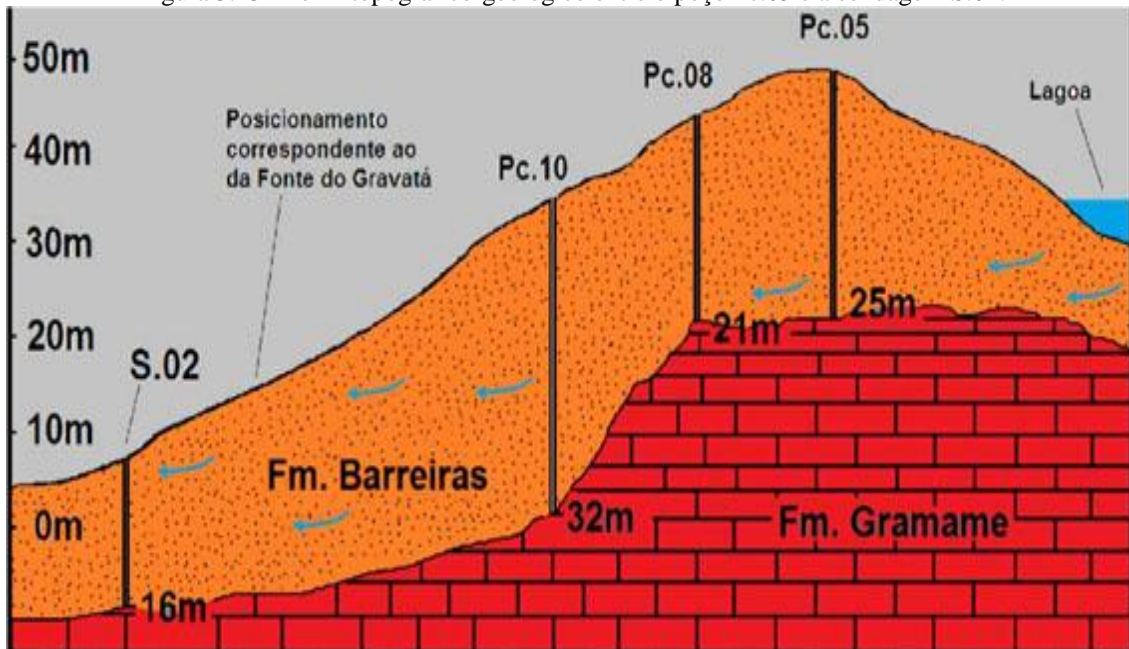
Fonte: Elaborado por Araújo (2012). Perfil não linear. Elaborado a partir de dois segmentos: fonte de Tambiá – poço P.11 e poço P.11 – fonte da Maria Feia. Observar que as fontes se posicionam acima da zona de contato entre as Formações Barreiras e Gramame. As setas azuis correspondem ao sentido do fluxo subterrâneo.

Figura 3.12 - Perfil topográfico-geológico no entorno do poço Pc.12 e Pc. 01.



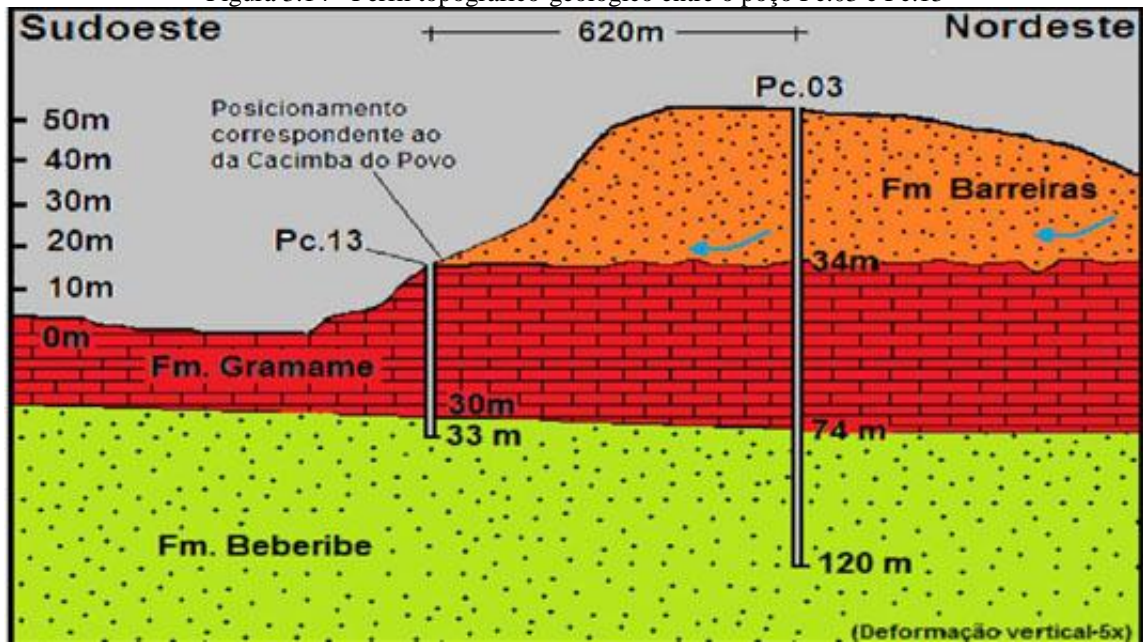
Fonte: Elaborado por Araújo (2012). Observar marcantes diferenças no posicionamento da camada de calcário entre as bandas leste e oeste do perfil. As interrogações suscitam a possibilidade da existência de uma falha geológica na porção oeste do promontório P2. As setas azuis correspondem ao sentido do fluxo subterrâneo.

Figura 3.13 - Perfil topográfico-geológico entre o poço Pc.05 e a sondagem S.02.



Fonte: Elaborado por Araújo (2012). Observar que, também nesse perfil, o calcário apresenta-se rebaixado na banda oeste do perfil e a leste, o posicionamento da lagoa tem cota superior ao da capa do calcário. As setas azuis correspondem ao sentido do fluxo subterrâneo.

Figura 3.14 - Perfil topográfico-geológico entre o poço Pc.03 e Pc.13



Fonte: Elaborado pelo autor. Observar que o comportamento da capa do calcário é semelhante ao dos dois perfis anteriores, ou seja, rebaixado na porção oeste do perfil. As setas azuis correspondem ao sentido do fluxo subterrâneo.

Tendo consciência da importância que o mapeamento geotécnico tem como ferramenta de suporte para o desenvolvimento urbano, e presente os objetivos deste trabalho, considera-se importante caracterizar o perfil geológico e geotécnico dos principais grupos de rochas existentes na região e apontar as regiões com potenciais de problemas, no sentido de indicar as áreas adequadas para os fins que se propõe cada atividade e ocupação, servindo ainda de apoio ao planejamento urbano da região.

Tuma (2004) em seu trabalho de construção dos mapeamentos geotécnicos afirmou que estes devem geralmente retratar as variações dos atributos dos seguintes componentes do meio físico:

- Substrato rochoso - constituído pelas rochas duras e/ou brandas;
- Material inconsolidado - constituído pelos materiais oriundos das alterações *in situ* dos diferentes materiais rochosos em forma de solos e pelos sedimentos, compostos por materiais transportados e acumulados num local;
- Águas - superficiais e subterrâneas;
- Relevo - formas, declividades e dinâmica.

Os trabalhos de mapeamento geotécnico têm como objetivo essencial transferir informações existentes dos aspectos físicos e do meio ambiente de uma área estudada para documentos cartográficos que podem ser úteis para planejadores e engenheiros civis (AKPOKODJE, 1979). Conforme Seignemartin *et al.* (1979), mapeamentos geológico-

geotécnicos visam tão somente subsidiar as decisões para a ocupação de áreas disponíveis em determinadas regiões, não devendo, entretanto, os projetistas e engenheiros abrir mão dos ensaios de caracterização locais para a implantação de qualquer obra civil.

As cartas e mapas geotécnicos são aplicados nas diferentes etapas de implantação de obras civis e nos processos de planejamento territorial, urbano e ambiental, assim como no desenvolvimento e na conservação do meio ambiente (ZUQUETTE e NAKAZAWA, 1998), enquanto que os mapas geológicos são de domínio consensual em todo o mundo. Ambos mostram em geral as formações e estrutura geológica mapeável, às vezes, membros ou grupos ou até unidades cronoestratigráficas (MACIEL FILHO, 1998).

3.2.1. Mapa de Documentação

Tuma (2004) estruturou os estudos nos trabalhos de mapeamento geotécnico, que são, normalmente, ilustrados com a elaboração de alguns mapas, sendo um deles de documentação ou de base, contendo os pontos visitados, coleta de amostras, dados de sondagens, vias de acesso, entre outras informações. Para Lozińska-Stepień (1979), os mapas de documentação são preparados dentro de uma base topográfica existente através de simbologias convencionais.

Durante ainda os trabalhos de campo e foto interpretação foram identificados que dos principais usos e ocupações do solo boa parte são destinados para mineração (Figura 3.15).

Figura 3.15 - Mineração em área urbana na cidade de João Pessoa

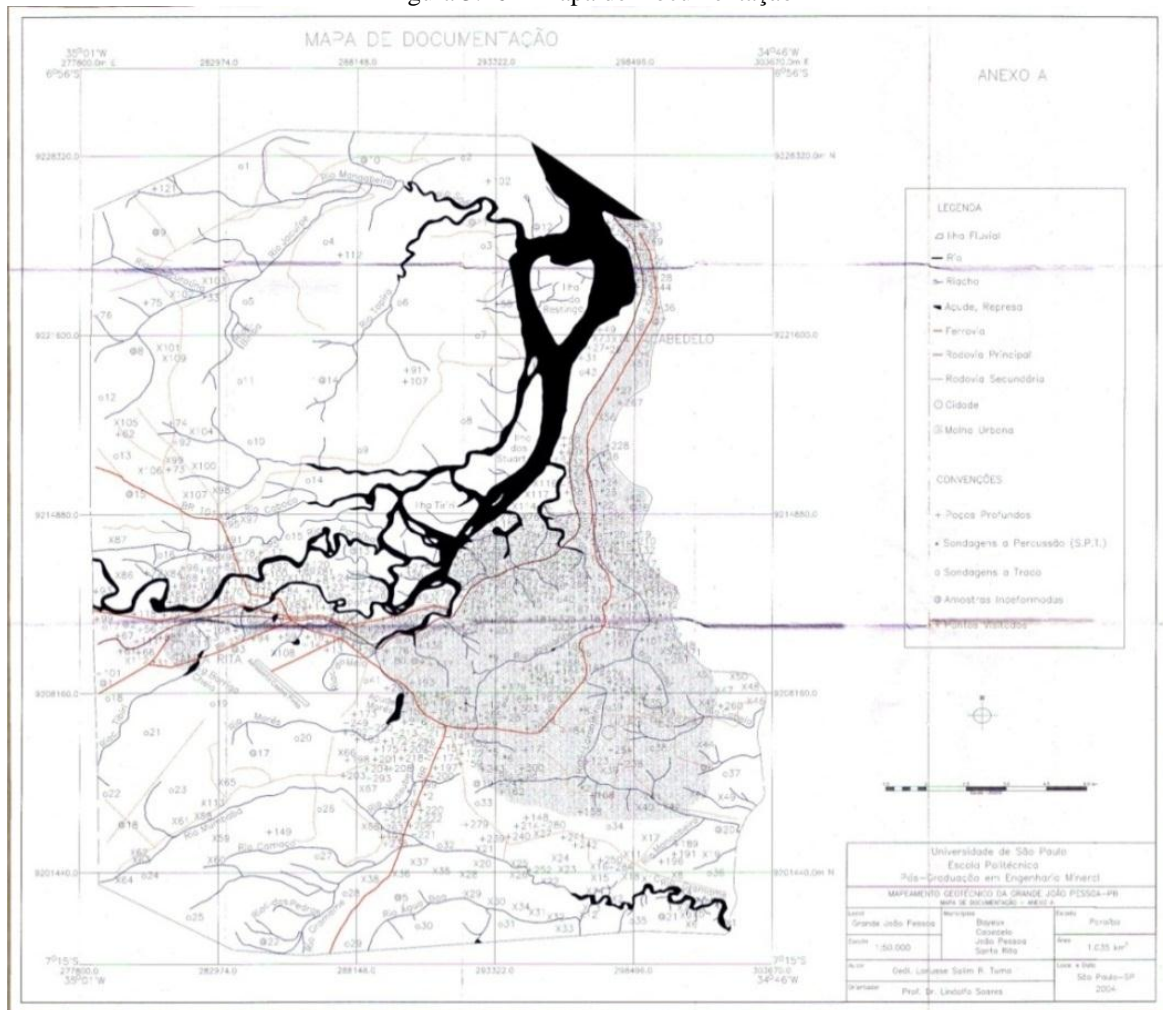


Fonte: Tuma (2004)

A finalidade do “mapa de documentação” ou chamado também “mapa de dados geológico-geotécnicos” visa indicar todos os locais onde foi possível obter algum tipo de informação disponível e acessível, seja de cunho qualitativo ou quantitativo, bem como os meios utilizados para se conseguir os dados e qual o tipo de informação de interesse para o trabalho.

Nos trabalhos desenvolvidos por Tuma (2004) foi desenvolvido no documento (Figura 3.16, em tamanho reduzido, e Anexo A, no tamanho original) os registros dos locais visitados, os pontos de coleta de amostras de solos e rochas, sondagens a trado, SPT ou outro método adotado, executadas e previamente realizadas na área, os afloramentos onde foi possível analisar os perfis expostos, pontos de investigação direta no subsolo através de escavações verticais, localização dos poços tubulares e artesianos, áreas de empréstimo, pontos de extração de recursos minerais, entre outros.

Figura 3.16 – Mapa de Documentação



Fonte: Tuma (2004)

3.2.2. Mapa de Substrato Rochoso

No mapa do substrato rochoso encontra-se o quadro geológico da área, baseado nos trabalhos de fotointerpretação e de campo, e na compilação de mapas geológicos preexistentes em pequenas escalas. Para a elaboração deste mapa, o aspecto litológico das rochas apresenta importância fundamental, porque no mapeamento geotécnico o que importa é estabelecer a separação entre os materiais rochosos e os materiais inconsolidados superficiais, e assim definir o comportamento das unidades geotécnicas dos terrenos.

O mapa do substrato rochoso encontra-se representado no documento cartográfico da Figura 3.17, em tamanho reduzido, e reproduzido no anexo B no tamanho original.

Este mapa apresenta como especificidade a delimitação das unidades homogêneas, e apresenta na síntese as características dos materiais de cobertura, pouco consolidados, onde determinados critérios são considerados como o registro das rochas originais, a textura do material, a espessura máxima e mínima e o índice de resistência a partir dos testes de penetração (Standard Penetration Test-SPT).

De acordo com Nascimento (2008), as unidades do mapa do substrato rochoso do município de Joao Pessoa estão assim representadas:

- (1) Quaternário – Aluvião;
- (2) Quaternário – Cobertura Arenosa;
- (3) Quaternário – Planície Costeira;
- (4) Grupo Barreiras – Terciário; e
- (5) Grupo Formação Gramame – Cretáceo.

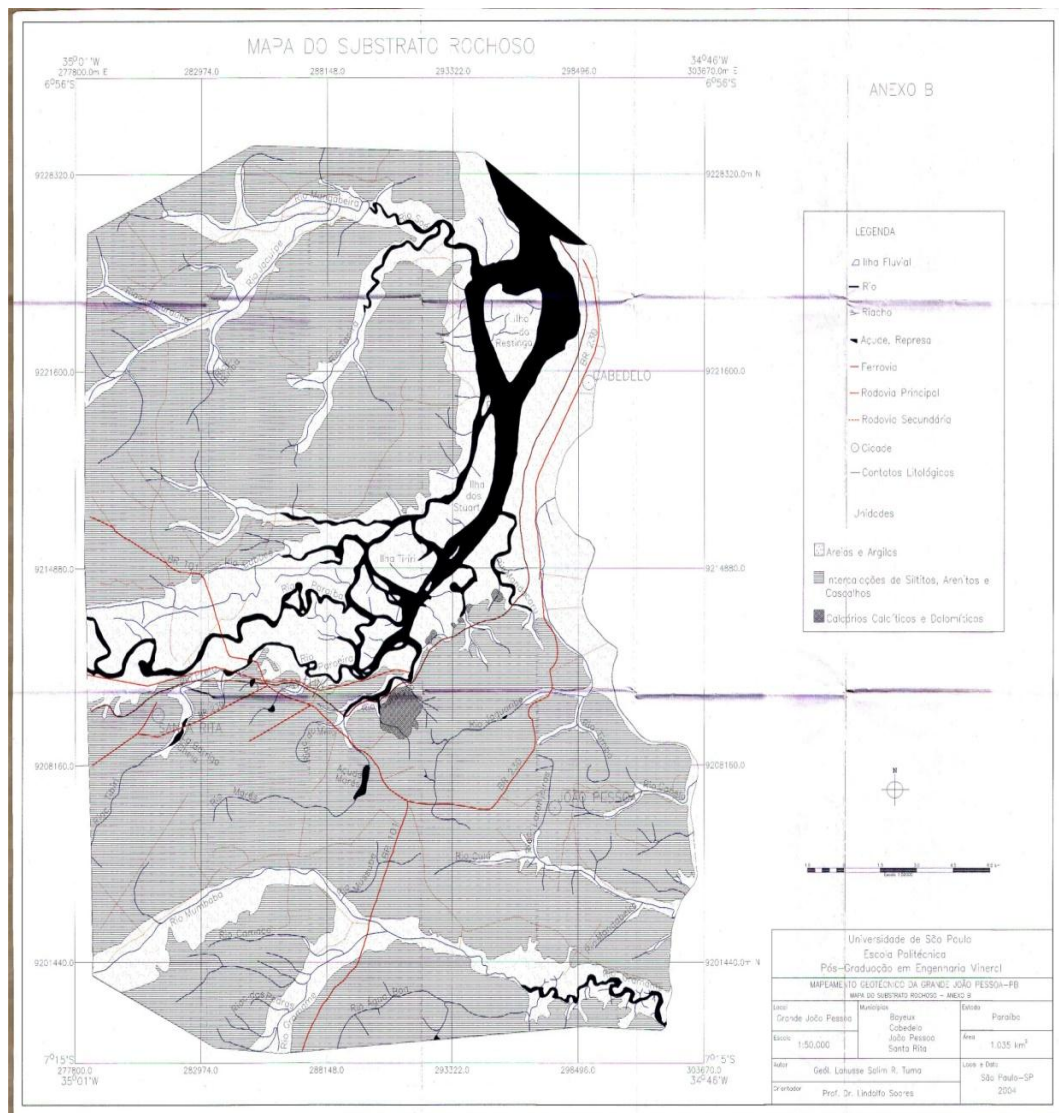
O mapa do substrato rochoso (Figura 3.17) mostra que 70,87% (Tabela 3.1) das áreas do município fazem parte do Grupo Barreiras – Terciário, áreas com boa capacidade de suporte e favoráveis a ocupação, excetuando-se algumas áreas críticas geotecnicamente (NASCIMENTO, 2008)

Tabela 3.1 – Valores das áreas por unidade do substrato rochoso em quilometro e percentagem.

Substrato Rochoso Unidades	Área (km ²)	Área (%)
Quaternário Aluvião	39,26	18,85
Quaternário Cobertura Arenosa	3,22	1,55
Quaternário Planície Costeira	11,47	5,51
Terciário	147,59	70,87
Cretáceo	6,71	3,22
TOTAL	208,25	100,00

Fonte: Tuma (2004)

Figura 3.17 – Mapa de Substrato Rochoso



Fonte: Tuma (2004)

A Tabela 3.2 apresenta o quadro resumo da situação estratigráfica das principais unidades geológicas presentes na área de estudo, segundo Coutinho (1967) e Martins (2006). As Figuras 3.18 e 3.19 apresentam a distribuição espacial destas unidades.

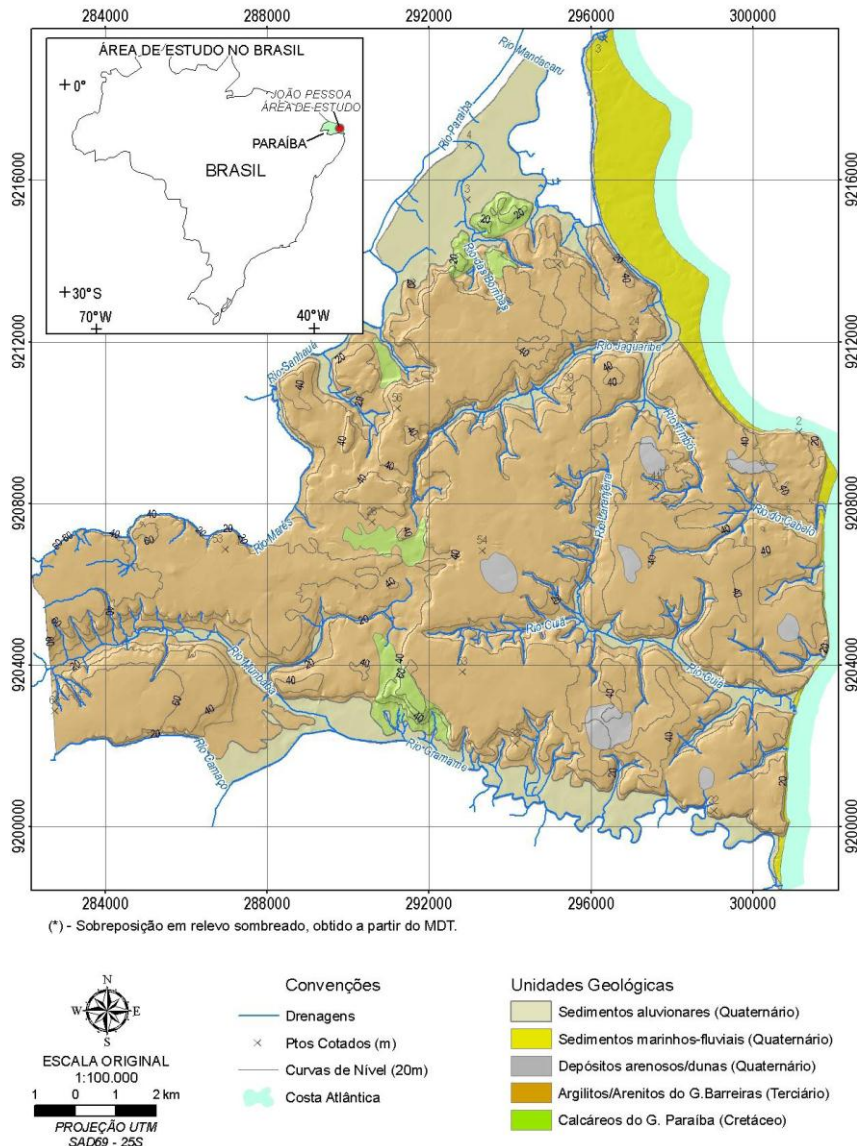
Tabela 3.2 –Quadro resumo da situação estratigráfica das unidades geológicas da área de estudo.

IDADES		UNIDADES GEOLÓGICAS
ERA	PERÍODO	
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	Sedimentos inconsolidados de origem aluvio-coluvionar Sedimentos inconsolidados de origem marinha com contribuição fluvial
	TERCIÁRIO	Sedimentos inconsolidados arenosos (dunas) Argilitos, siltitos e arenitos brandos das Formações Riacho Morno (superior) e Guararapes (inferior) do Grupo Barreiras
MESOZÓICA	CRETÁCIO	Calcários, calcários argiloso e calcoarenitos da Formação Gramame do Grupo Paraíba

Fonte: Coutinho (1967) e Martins (2006)

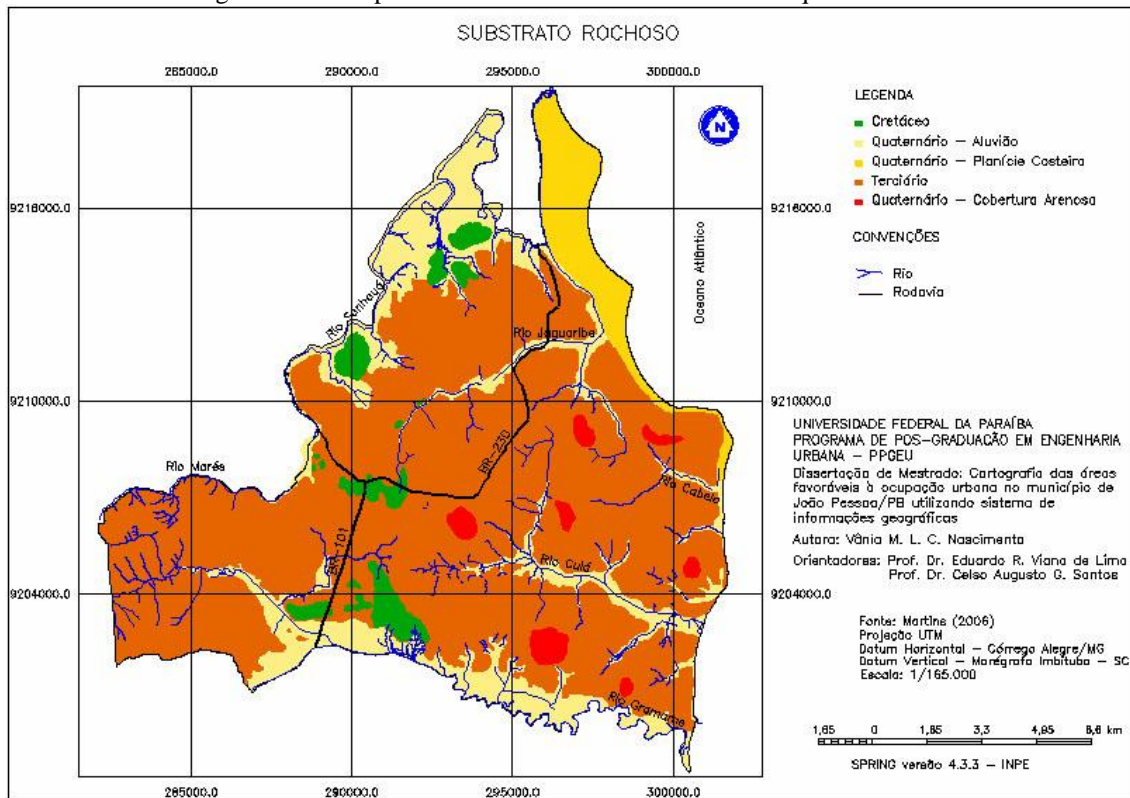
O levantamento de Soares (2011) confirmou que a unidade geológica mais antiga aflorante na região estudada é representada pela Formação Gramame do Grupo Paraíba de idade Cretácea (mesozoica). Esta formação apresenta cerca de 40 m de espessura, compreendendo rochas sedimentares químicas com contribuição detrítica, ou sedimentos clásticos, formados por calcários (de águas rasas), calcoarenitos litorâneos e horizontes de fosfatos na sua porção basal e presença de fósseis (amonoides e foraminíferos). A denominação original da formação ocorreu em 1940, referindo-se às ocorrências de afloramentos de calcário no vale do Rio Gramame, na porção da área de estudo. Esta unidade também está presente de forma descontínua e associadas a vales de drenagem nos setores norte e central da área investigada.

Figura 3.18 - Mapa com as principais unidades geológicas presentes na área de estudo.



Fonte: Coutinho (1967) e Martins (2006).

Figura 3.19 - Mapa do substrato rochoso com as classes qualificadoras.



Fonte: Coutinho (1967) e Martins (2006).

A posição estratigráfica dos materiais da Formação Gramame está abaixo do pacote sedimentar do Grupo Barreiras, sendo assim, os chamados de calcário afloram somente nas áreas topograficamente arrasadas dos terrenos. As jazidas desse material destinam principalmente à fabricação de cimento. A lavra desse material é conduzida por empresas legalizadas por processo mecanizado a céu aberto, mas também ocorre extração irregular por grupos de garimpeiros que operam na ilegalidade.

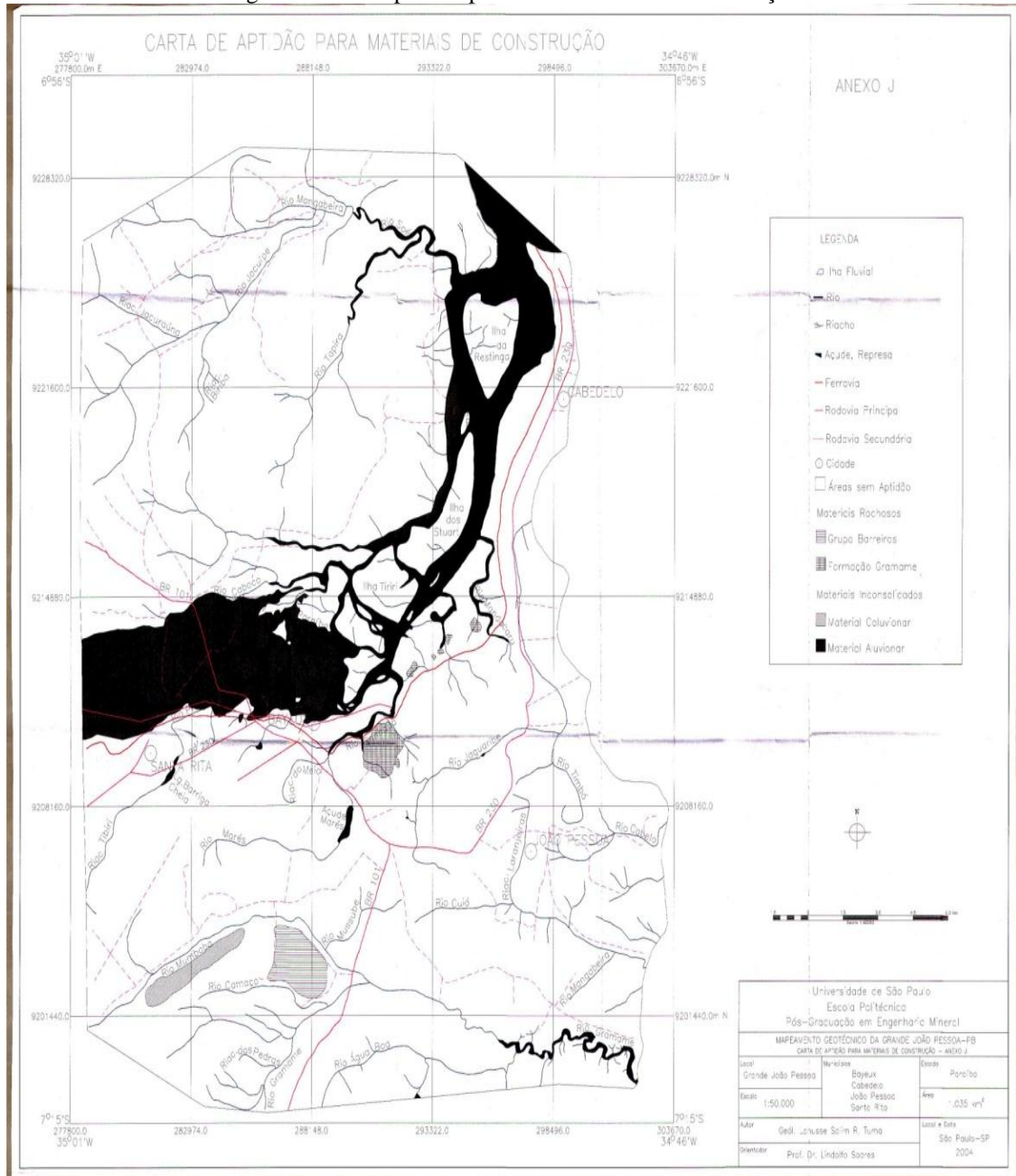
3.2.3. Mapa de Aptidão para Materiais de Construção

Tuma (2004) elaborou uma carta de aptidão para materiais de construção, que tem o objetivo de indicar as áreas mais favoráveis para a exploração de materiais inconsolidados e do substrato rochoso que apresentem viabilidade econômica e encontrem-se inseridas nos contextos do planejamento urbano sustentado e racionalidade ambiental.

A exploração dos recursos minerais na região mapeada na Figura 3.20, abaixo, em tamanho reduzido, que está também reproduzida no anexo C, em tamanho original, está concentrada próxima dos centros urbanos e de acordo com as observações de campo tornou-se

possível constatar que as atividades de mineração ilegais ou sem licença ambiental vêm contribuindo de forma acelerada para a geração de impactos ambientais negativos.

Figura 3.20 – Mapa de Aptidão de Materiais de Construção



Fonte: Tuma (2004)

A preservação dos recursos naturais disponíveis depende da utilização controlada de forma responsável desses materiais. O registro das informações contido na carta de aptidão para materiais de construção torna-se um importante instrumento de gestão do meio físico, obtido pelo processo de cruzamento automatizado dos atributos que possibilita a definição das

classes relacionadas às possibilidades de uso e a definição das áreas de exploração mais favoráveis.

A área de estudo apresenta uma vocação geológica privilegiada quanto à ocorrência de grandes quantidades e variedades de materiais empregados na construção civil. Esta diversidade decorre da área estar situada numa bacia sedimentar marginal da costa Atlântica. O potencial natural da região está representado por extensos depósitos de areia, de argilas e importantes jazidas de calcário.

As jazidas de calcário da Formação Gramame afloram na porção centro-leste da área de trabalho. A posição estratigráfica deste material rochoso está abaixo do pacote sedimentar do Grupo Barreiras, sendo assim, as camadas do calcário afloram somente nas áreas topograficamente arrasadas do terreno. Este material destina-se, principalmente, a fabricação de cimento e também é utilizado como agregado pela sua dureza (pavimentos, concretos, lastros de ferrovia, gabiões, etc.). A lavra deste material é conduzida por empresas legalizadas por processo mecanizado a céu aberto, mas também ocorre a extração irregular por grupos de garimpeiros que operam na ilegitimidade.

Outras áreas promissoras para a exploração situam-se na porção sudoeste da área de estudo. Entre as substâncias empregadas na construção civil como aterros destacam-se os depósitos arenosos coluvionares e os materiais residuais argilosos pouco consolidados do Grupo Barreiras que em quantidade tornam-se favoráveis economicamente. Estas áreas foram classificadas de acordo com alguns atributos, tais como: regiões afastadas dos centros urbanos, mas que fossem próximas das malhas viárias principais e secundárias; terrenos com nível d'água com profundidade superior a 1 m; áreas com inclinações do relevo até 5%; distância de segurança dos cursos d'água e das unidades de conservação permanente como reservas florestais e solos férteis.

3.2.4. Mapa de Bacias Hidrográficas e Lençol Freático

Tuma (2004) elaborou também um mapa através da análise de fotografias aéreas, trabalhos de campo, mapas básicos disponíveis e levantamentos de dados existentes.

No mapa de bacias hidrográficas estão representadas as informações referentes as águas superficiais e subsuperficiais. No caso das águas superficiais, formados pelo conjunto da rede de drenagem nas suas mais variadas formas de ocorrência e tamanhos, informam-se o comportamento e os recursos hídricos da bacia como, por exemplo, o tipo e o sistema da rede de drenagem, os principais açudes e represas, as regiões inundáveis, as abrangências das

bacias e sub-bacias e outros aspectos. Quanto às condições hidrogeológicas, ou seja, a existência de água na subsuperfície, alguns parâmetros são inferidos, destacando-se: o desempenho dos aquíferos, o nível estático e o nível dinâmico esperado, bem como a vazão média dos poços existentes que determinam as características hidrogeológicas de interesse.

Foram utilizados na elaboração deste mapa os poços profundos de captação de água subterrânea cadastrados pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba - CAGEPA e da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais – CDRM/PB. Os dados informados dos poços cadastrados constam basicamente das respectivas posições geográficas, a variação do nível d'água estático e dinâmico, e outras especificações técnicas dos furos de sondagem. Os dados levantados dos poços tubulares profundos de cada município abrangido podem ser assim generalizados (Tabela 3.3).

Da análise do comportamento dos cursos d'água e da superfície do terreno as propriedades mais importantes são: média a alta densidade da rede de drenagem, disposição preferencialmente anelar, fortemente estruturada e de 2ª ordem. Possuem, ainda, sinuosidade dos elementos de drenagem predominantemente curvos, média angularidade de confluência da drenagem, direções principais das linhas de drenagem para E-W e NE-SW e direções secundárias para N-S e NW-SE, com forte assimetria na forma e tamanho dos elementos de drenagem, e presença de meandros abandonados, drenagens em arco e cotovelo.

Tabela 3.3 - Características dos poços tubulares existentes na área de trabalho.

Localidade	Poços	Nível Estático (m)	Nível Dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Espessura do Aquífero (m)
Santa Rita	6	0,3-57	0,6-98,5	3-55	0,6-56
Cabedelo	0	2-12	6-50	0,1-176	3,5-50
Bayeux	5	1-70	4-132	2,2-177,4	1,8-33
João Pessoa	6	1,5-62,8	3-115	0,7-177	1-55,2

Fonte: Dados fornecidos pela CDRM e CAGEPA.

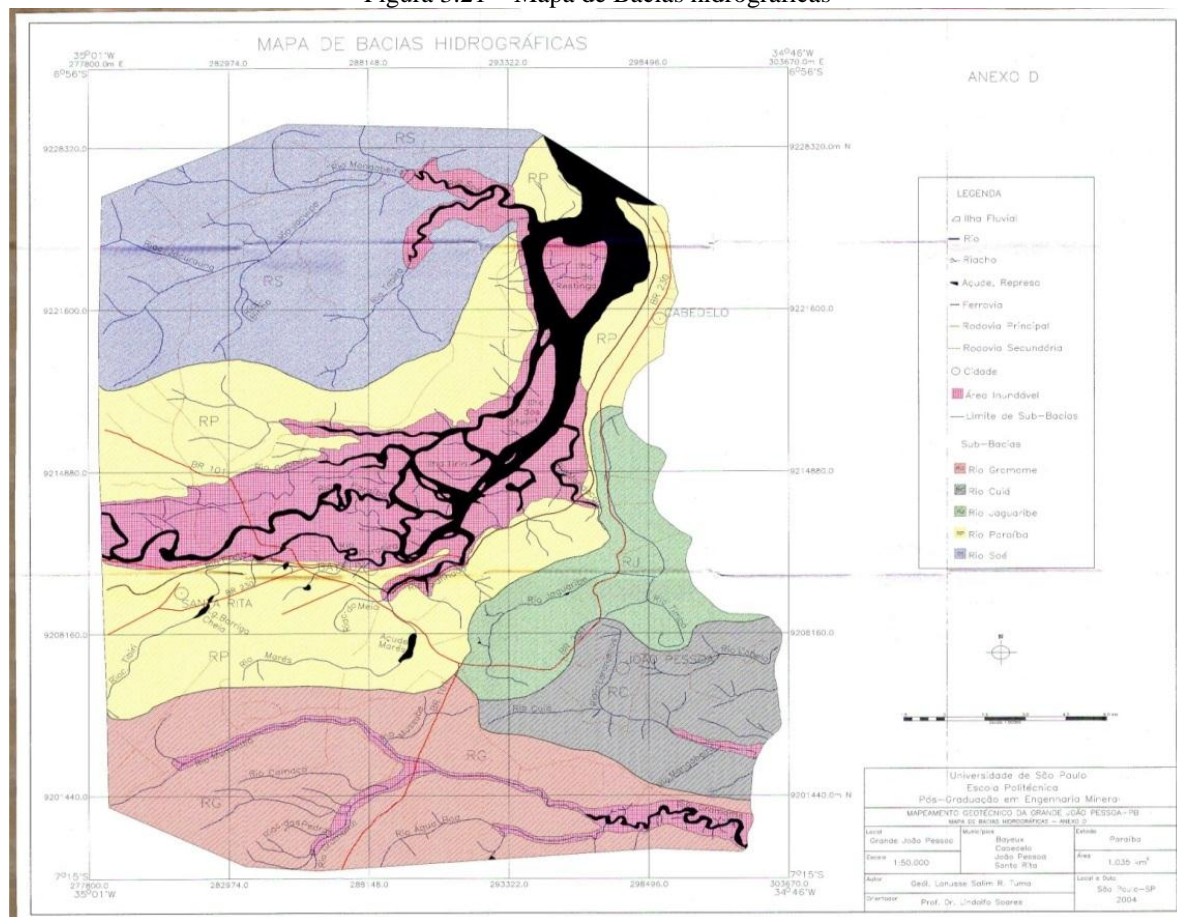
Foram caracterizadas as abrangências das principais sub-bacias hidrográficas e as áreas de inundação, a partir dos trabalhos de fotointerpretação baseados nos critérios como tons de cinza, padrões texturais e formas geométricas da rede de drenagem e por meio dos levantamentos de campo. Entre as áreas de sub-bacias hidrográficas delimitadas compreendem as redes de drenagens dos rios Paraíba, Gramame, Soé, Jaguaribe e Cuiá (Figura 3.21, tamanho reduzido, e Anexo D, tamanho original).

A rede hidrográfica está representada por pequenos, médios e grandes afluentes, com destaque para o rio Paraíba do Norte onde nas suas margens se concentra a atividade de extração de areia através de desmonte hidráulico.

Admite-se, também, que o principal sistema de aquífero na área de trabalho corresponde às rochas clásticas do Grupo Barreiras. A espessura média deste sistema de aquífero é de 42 m.

O aquífero Gramame, referente aos calcários, produz quantidade reduzida de água subterrânea e de qualidade química medíocre. Sua alimentação se faz verticalmente: ascendente, quando proveniente do aquífero Beberibe e descendente, a partir do Barreiras ou dos sedimentos quaternários. As possibilidades de uma circulação cárstica existem nos calcários puros, mas a permeabilidade média é sempre baixa uma vez que as camadas margosas são predominantes.

Figura 3.21 – Mapa de Bacias hidrográficas



Fonte: Tuma (2004)

Os sedimentos que constituem o Grupo Barreiras ocupam uma extensão considerável na área estudada. Quanto à espessura, o grupo é mais possante na faixa litorânea, variando de 40 a 70 metros, mas podem existir setores em que essas espessuras podem ultrapassar os 80 metros.

O aquífero Barreiras é de relativa importância na área, produzindo água de boa qualidade. No geral, apesar de sua extensão, o aquífero Barreiras apresenta, no seu todo, possibilidades hidrológicas relativamente fracas em virtude de sua baixa permeabilidade, da existência de ressurgências nas encostas dos vales e da alimentação dos rios e desempenha um papel importante como reservas de água subterrânea.

Em relação à profundidade do lençol freático, cerca de 70% das áreas do município possuem profundidades superiores a 15 metros, caracterizando áreas favoráveis à ocupação urbana. A Figura 3.22 mostra o mapa das profundidades do lençol freático de João Pessoa/PB e a Tabela 3.4 apresenta os valores das áreas pelas faixas de profundidades.

Tabela 3.4 – Valores das áreas do município pelas faixas de profundidades em quilômetro e porcentagem.

Profundidade do Lençol Freático	Classes	Área (km ²)	Área (%)
< 2 m	45,06	21,64	
2 m a 9,1 m	1,52	0,73	
9,1 m a 15,2 m	24,37	11,70	
15,2 m a 22,9 m	80,88	38,83	
> 22,9 m	56,42	27,10	
TOTAL	208,25	100,00	

Fonte: Soares(2011)

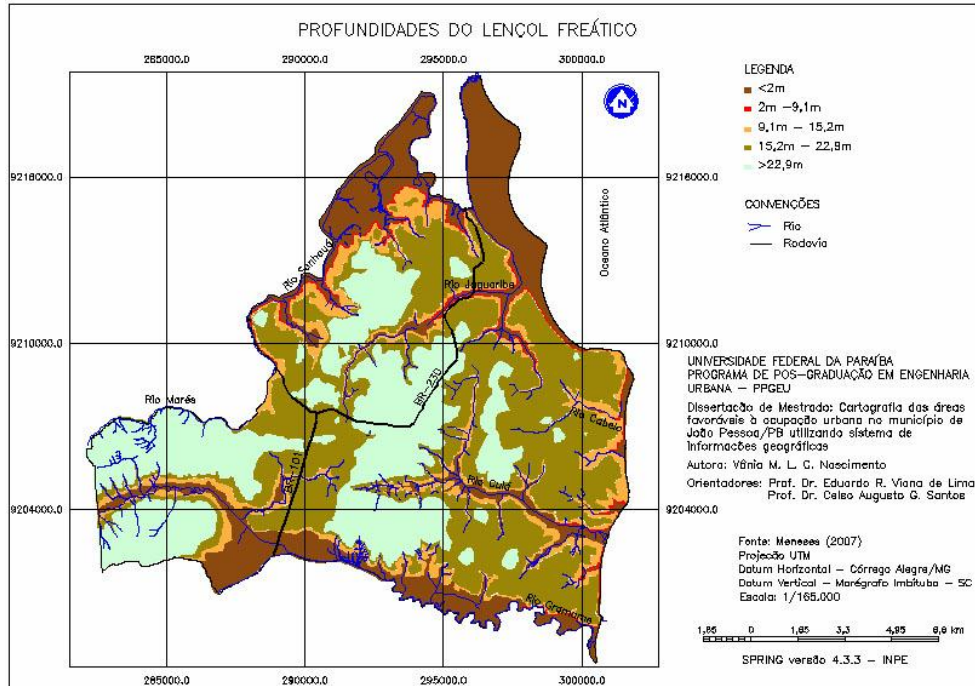
De uma maneira geral, o lençol freático acompanha a topografia da superfície, mas de forma bem menos irregular do que esta (GILLULY *ET AL.*, 1968). Assim, faixas de transição entre as unidades foram definidas pela proximidade das curvas de nível, ou seja, os locais onde as curvas são mais próximas, o que indica maior inclinação, a faixa de transição foi considerada menor ou nula e os locais onde as curvas são mais espaçadas, foi definida uma faixa maior de transição.

Os solos existentes sobre tabuleiros, por terem se desenvolvido nos sedimentos arenosos da Formação Barreiras e em ambiente de clima quente e úmido, que potencializa a dissolução dos minerais mais vulneráveis, tendem a concentrar superficialmente níveis arenosos.

Por outro lado, o fato de os tabuleiros constituírem superfícies planas ou quase planas, a infiltração supera o escoamento superficial. O mesmo só se desenvolve quando a porosidade do solo estiver totalmente preenchida por água. Essa tendência, na dinâmica das águas pluviais sobre os tabuleiros, além da formação dos níveis arenosos em superfície, provoca a formação de níveis endurecidos e impermeáveis em sub-superfície através da concentração dos colóides e soluções no horizonte fluvial. Essa peculiaridade das áreas mais

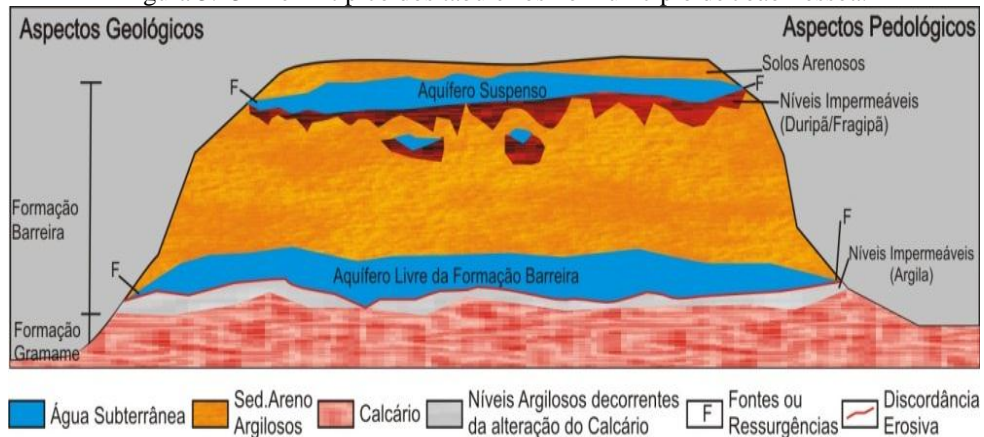
planas promoverá condições especiais para retenção de água subterrânea nos níveis superficiais dos solos dos tabuleiros, o que constituirá diversos aquíferos suspensos próximos às suas superfícies (Figura 3.23).

Figura 3.22 - Mapa temático das profundidades do lençol freático do município de João Pessoa/PB.



Fonte: Meneses (2007).

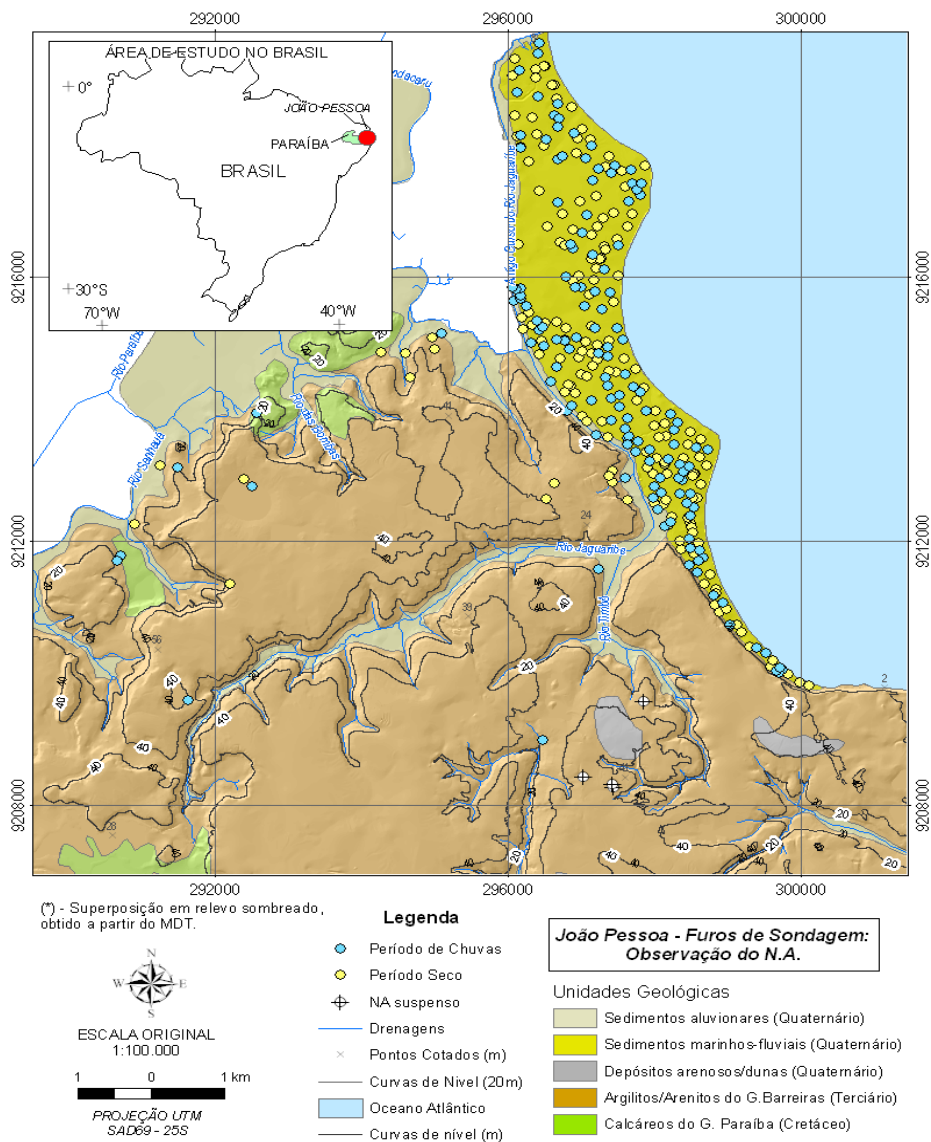
Figura 3.23– Perfil típico dos tabuleiros no município de João Pessoa.



Fonte: Araújo (2012). Perfil de Tabuleiro evidenciando os níveis impermeáveis, responsáveis pela retenção das águas e formação dos aquíferos livres existentes da região de João Pessoa. Nas áreas a leste do município os calcários não são aflorantes ao longo das vertentes.

Soares (2011), fez interpolações de 529 sondagens de SPT, com a separação dos furos trabalhados em função do NA (furos em que o lençol foi alcançado e furos que não alcançaram o lençol), foi encontrada a disposição da Figura 3.24.

Figura 3.24 - Disposição dos furos em que foi alcançado o NA.



Fonte: Sores (2011)

A figura também exhibe a disposição, dentro da amostra analisada, dos furos realizados no período considerado chuvoso (março a agosto) e os no período considerado seco (setembro a fevereiro). Dos 529 furos trabalhados, 299 apresentam informações referentes ao NA, sendo 158 delas realizadas durante o período considerado seco e 141 no período considerado chuvoso. Além desses, 4 boletins de sondagem apresentavam a observação de que a profundidade de NA encontrada não se referia ao lençol freático, mas a porções de água que caracterizariam um aquífero suspenso, de caráter intermitente, coloquialmente citado como “água empoçada”, ou “empoleirada”, represadas sobre camadas menos permeáveis. Tais furos foram executados na região do Grupo Barreiras, correspondente ao bairro dos

Bancários, com cotas em torno de 40 metros, onde em alguns trechos alcança-se arenito a poucas profundidades.

As sondagens que alcançaram o nível d'água estão quase que totalmente localizadas na Baixada Litorânea, com terrenos apresentando cotas altimétricas entre 0 e 5 m, enquanto que as sondagens nos tabuleiros sustentados pelo Grupo Barreiras apresentando cotas altimétricas entre 25 e 50 m. A maioria dos valores de cota do NA situa-se entre -1 m (lençol abaixo da cota zero, principalmente nos locais mais próximos ao mar) e 5m, indicando a predominância na planície litorânea. Observa-se que o da estação mais seca apresenta menores valores de cota que o da estação de chuvas. Para as interpolações da superfície freática na área de estudo, foram utilizados só os furos realizados no período seco, por sua maior representatividade amostral, tanto em número de dados como em termos de área, uma vez que abrangeram as partes correspondentes as outras unidades geológicas. Como os furos com valores de NA correspondentes ao período chuvoso encontram-se todos nesta área, as análises de comparação da variação de nível da superfície freática entre os dois períodos (estações) – seco /chuvoso foram realizadas somente para a planície. Então as interpolações para a análise da variação do lençol em diferentes épocas foram realizadas somente com os furos localizados dentro da unidade geológica de sedimentos recentes, pertencentes à zona costeira. A adição dos dados dos poços permitiu um refinamento no modelo da superfície freática, visto que conferiu a este um aumento de profundidade na área do grupo barreiras em que a não observação do NA nas sondagens indicava níveis mais baixos da ocorrência do lençol. A Figura 3.25 exhibe o modelo de nível freático obtido para a área de estudo, elaborado por Soares (2011), com os furos obtidos no período seco e também dos poços.

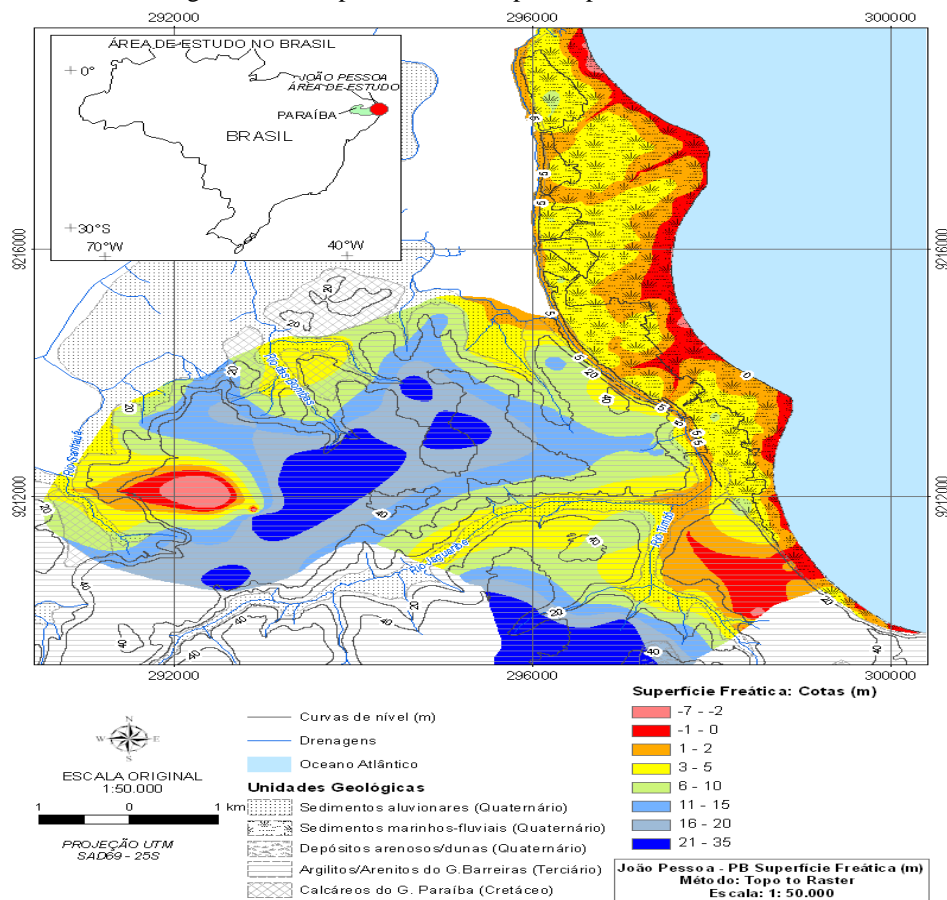
A superfície interpolada apresenta uma disposição espacial bastante aderente às diferentes condições de relevo e unidades geológico-geotécnicas presentes na área analisada. Os valores de cota desta superfície tendem a ser nulos a negativos próximo a linha de costa, aumentando gradualmente ao longo da Baixada Litorânea à medida que se avança para o interior do continente, ocupando cotas em torno de 4 a 5 m.

A partir desse limite, acompanhando a elevação do terreno pertinente ao comportamento da falésia e da transição entre os sedimentos marinhos e o Grupo Barreiras, as cotas da superfície freática se elevam até obter níveis de 35 metros. Observa-se também uma boa aderência nos fundos de vale.

As análises de comparação da variação de nível da superfície freática entre os dois períodos (estações) – seco /chuvoso foram realizadas somente para a planície, pois os furos com valores de NA correspondentes ao período chuvoso encontram-se quase todos nesta área.

Foram geradas superfícies freáticas para o período seco e o chuvoso, para os valores pertencentes aos furos contidos apenas na zona costeira, e então se seguiu a uma comparação entre as duas situações.

Figura 3.25 - Superfície freática para o período seco do ano



Fonte: Soares(2011)

A Figura 3.26 apresenta o resultado da interpolação da superfície freática utilizando as sondagens realizadas durante a estação de chuvas, enquanto a Figura 3.27 exhibe o modelo obtido para a estação seca.

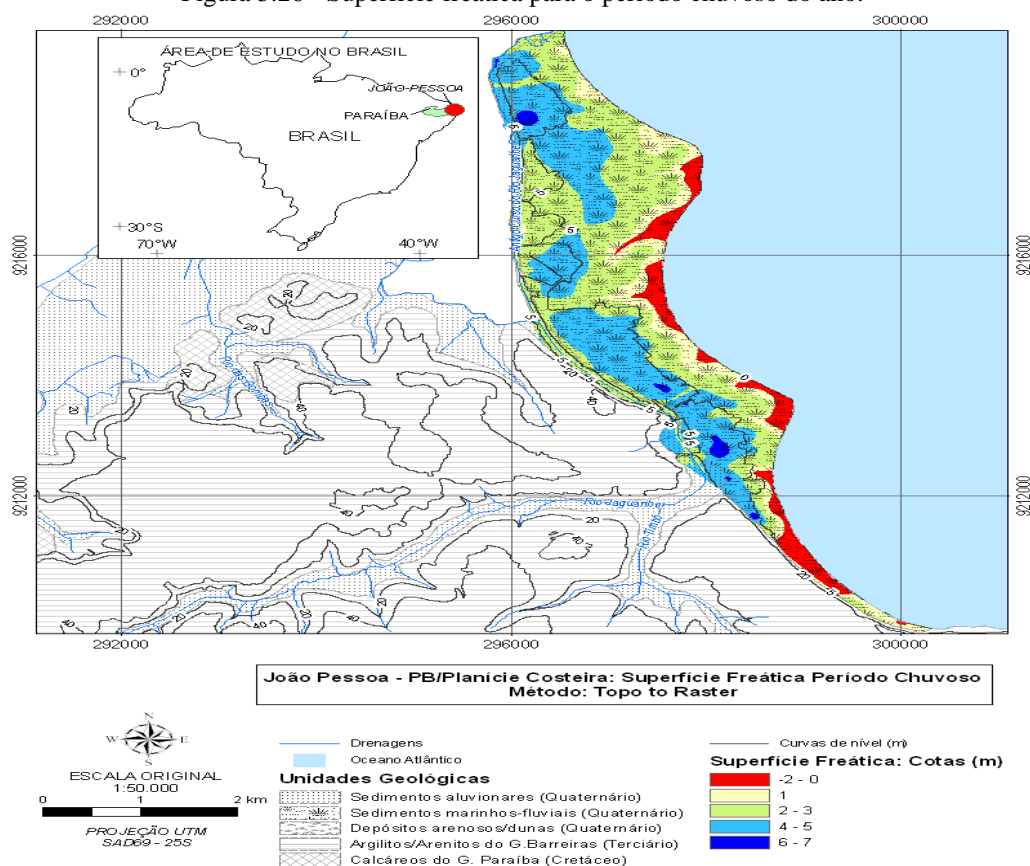
As superfícies interpoladas apresentam uma disposição espacial bastante compatível às diferentes condições de relevo presentes na área analisada. Pode-se constatar esse efeito com a análise conjunta das curvas de nível expostas. Os valores de cota desta superfície tendem a ser nulos a negativos próximo a linha de costa, aumentando gradualmente ao longo da Baixada Litorânea à medida que se avança para o interior do continente,

ocupando cotas em torno de 4 a 5 m. Novamente, percebe –se uma boa aderência aos fundos de vale.

Analisando a diferença entre superfícies (período chuvoso – período seco), observam-se trechos com cotas que oscilariam entre as estações do ano em até de 5 metros de amplitude.

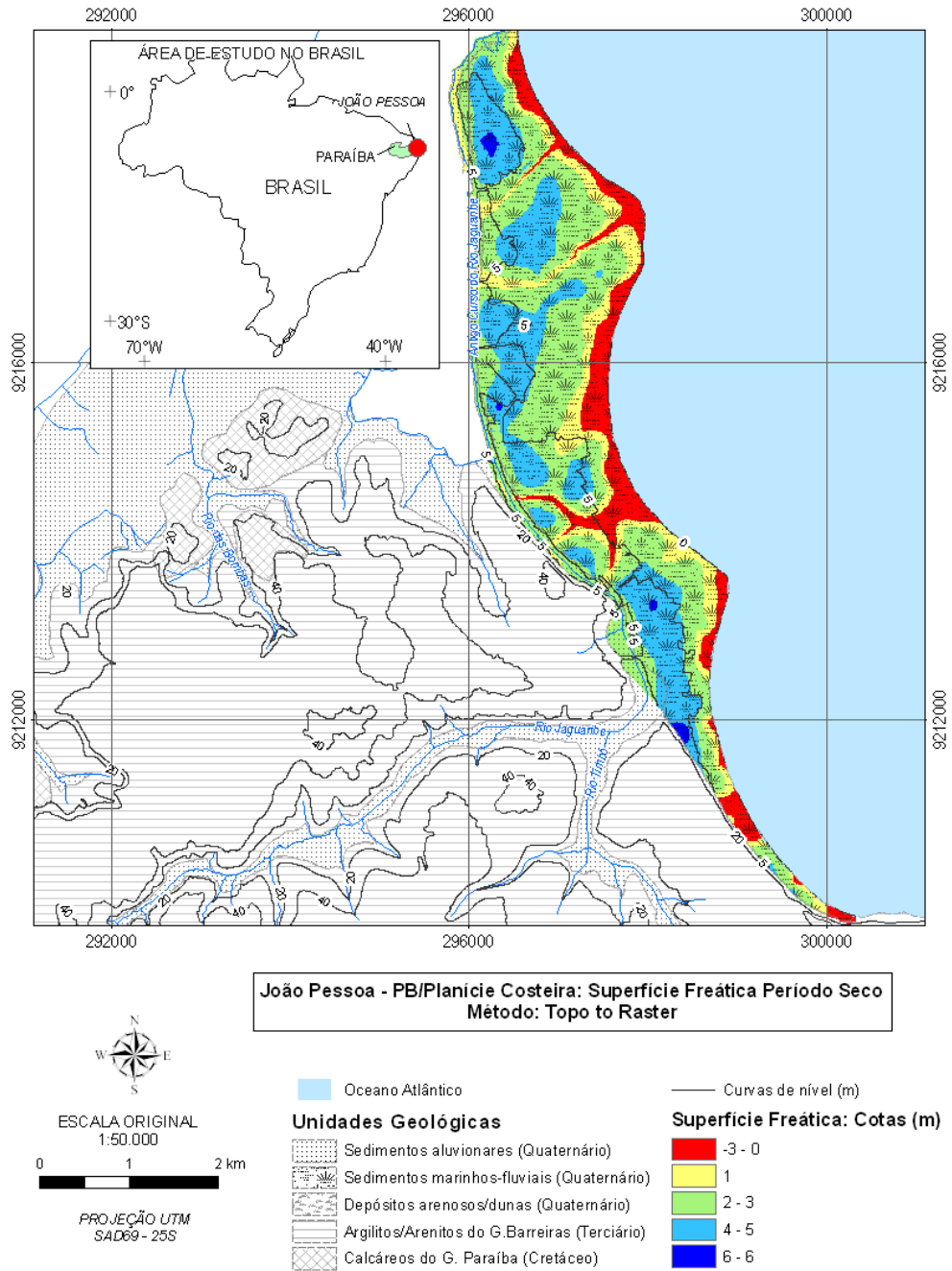
Entretanto, deve-se lembrar que foi utilizada uma generalização no processo de modelagem. Os valores de nível d’água correspondem a vários anos de observação, sem levar em conta as diferenças que podem ocorrer com o tempo (anos com maior pluviosidade, outros com menos). Além disso, a consideração pontual do início do período seco apresenta as cotas mais altas devido ao final recente do que foi considerado o período de chuvas. Essas considerações enfatizam então o caráter de modelo aproximado obtido, podendo ocorrer trechos que não sejam perfeitamente representativos (ex. cota no período seco mais alta que no chuvoso).

Figura 3.26 - Superfície freática para o período chuvoso do ano.



Fonte: Soares (2011)

Figura 3.27 - Superfície freática para o período chuvoso do ano.



Fonte: Soares (2011)

4 ENSAIOS REALIZADOS

Conforme previsto na Metodologia de Trabalho foram realizados os ensaios descritos em seguida, necessários à investigação do tema.

4.1. Ensaios físicos

Para desenvolvimento do trabalho foram executados ensaios físicos na rocha calcária, destinados a verificar a sua resposta à algumas necessidades de uso na Engenharia Civil, os quais serão a seguir descritos.

4.1.1. Ensaios de Caracterização

Foram feitos ensaios de caracterização para determinação de massa específica do agregado seco, massa específica na condição saturada com superfície seca, massa específica aparente e absorção de água. Para realização destes ensaios foi realizada a quebra das rochas em fragmentos médios de 5 mm, de forma a ficar quantidade razoável na preparação de 3 amostras, cuja aparência será a de um agregado graúdo, a fim de adequar às normas, pois não existe norma apropriada para rochas com granulometria acima de matacões.

Foi feita a determinação da massa específica do agregado seco, massa específica do agregado saturado, massa específica aparente e absorção de água, de acordo com a ABNT (2003) NBR NM 53/03 e observado o número de amostras determinado pela ABNT (2009) NBR NM 26/09.

Foi passada a amostra na peneira de 4,75 mm por via seca e desprezando o material passante e dividiu-se o material em 3 amostras distintas. Em seguida, lavado o material retido na peneira para eliminar o pó. Secou a amostra de ensaio até massa constante a uma temperatura de 105° C e deixada esfriar a amostra à temperatura ambiente durante 3 horas. Em seguida as amostras foram submergidas em água à temperatura ambiente por um período de 24 horas.

Retiradas as amostras da água e envolvendo-as em um pano absorvente até que toda água visível seja eliminada da superfície da amostra. Imediatamente, após serem enxugadas, foram pesadas as amostras em balança com precisão de 1g, obtendo os valores de m_s (agregado saturado com superfície seca), e colocadas as amostras no cesto de arame da balança hidrostática e submergi-las em água.

Em seguida foram pesadas as amostras submersas em água à temperatura de 23⁰ C com precisão de 1g, obtendo os valores de m_a (massa do agregado submerso), em seguida foi secada a amostra a 105° C até massa constante, deixada esfriar durante 3h, sendo pesadas, obtendo os valores de m (agregado seco).

Os valores de m_s , m_a e m obtidos estão discriminados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores do ensaio de massa específica

Pesos	m_s (g)	m_a (g)	M(g)
Amostra1	2115	1226	2056
Amostra 2	2263	1311	2163
Amostra 3	2157	1237	2065

Fonte: Autor

Os resultados, apresentados na Tabela 4.2, levaram em conta as fórmulas descritas na norma ABNT(2003) NBR NM 53/03 mostradas a seguir.

a) Massa Específica do Agregado Seco (d)

$$d = \frac{m}{m_s - m_a}$$

b) Massa Específica na Condição Saturada com Superfície Seca (d_s)

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a}$$

c) Massa Específica Aparente (d_a)

$$d_a = \frac{m}{m - m_a}$$

d) Absorção de Água (A)

$$A = \frac{m_s - m}{m} \times 100$$

Tabela 4.2 – Resumo dos resultados

Ensaio	d (g/cm ³)	d_s (g/cm ³)	d_a (g/cm ³)	A(Absorção)(%)
Amostra 1	2,31	2,38	2,47	3
Amostra 2	2,27	2,27	2,54	5
Amostra 3	2,24	2,34	2,49	4
Média	2,27	2,33	2,50	4

Fonte: Autor

4.1.1.1 Comentários

De acordo com Oliveira (2012), à luz dos resultados obtidos, nos ensaios de caracterização da Massa Específica, classifica a rocha calcária como um “Material Pesado”, de acordo com a Tabela 4.3 abaixo. Diante dos resultados alcançados, percebe-se que as características do calcário, possui similaridade com os diversos tipos de rocha, sobretudo aquelas mais usadas como materiais de construção ou aquelas constantes dos substratos rochosos predominantes no subsolo do País, tais como as rochas gnaisses, graníticas, filitos, basálticas, dioríticas e rejeitos da construção civil. Pesquisada a literatura disponível por inúmeros trabalhos, onde constam ensaios dessa ordem, foram encontrados valores compatíveis com os ensaios realizados, os quais são demonstrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.3 - Classificação dos agregados em leves, médios e pesados

Classificação	Massa Específica $d(g/cm^3)$
Leves	$d < 1$
Médios	$1 \leq d \leq 2$
Pesados	$d > 2$

Fonte: Oliveira (2012)

Tabela 4.4 – Comparação entre ensaios e valores da literatura

Ensaio	$d(g/cm^3)$	$d_s(g/cm^3)$	$d_a(g/cm^3)$
Resultado dos ensaios do Calcário Encontrado na literatura para outras rochas	De 2,24 a 2,31	De 2,27 a 2,38	De 2,47 a 2,54
	De 2,01 a 2,57 (1)	De 1,9 a 2,75 (2)	De 2,25 a 2,9 (3)

Fonte: Autor. **1**) Engenharia Civil (2010)/Pinho (2003); **2**) Altoé (2013)/Barbosa (2008); **3**) Serra Junior e Ojima (1998)/Lima (2006)

Quanto aos resultados de absorção de água, na literatura não são encontrados muitos ensaios do gênero para rochas com granulometria acima de 50 mm (brita nº 3). A maioria dos ensaios efetuados foi para rochas ornamentais, de revestimento e para agregados. O ensaio para rochas ornamentais e de revestimento, normalmente são efetuados após a lapidação, quando os trabalhos de lixamento e alisamento das superfícies dessas rochas vedam os poros da rocha, ocasionando uma baixíssima permeabilidade alterando o resultado da rocha bruta, diferentemente do realizado neste trabalho para a rocha calcária. Também os ensaios de agregados são normalmente feitos em rochas graníticas e gnaisses, com granulação entre 4,8 mm e 50 mm, que, nessas condições, podem diferir daqueles com granulometria maior que 50 mm, em face da diferença de superfície específica. Na Tabela 4.5, entretanto, pode-se constatar que a absorção de água do calcário é muito diferente para as rochas ornamentais e

de revestimento, também diferente para agregados graúdos de origem granítica e seixos, mas é um pouco menor que o agregado graúdo de origem das rochas gnaisse.

Tabela 4.5 – Comparativo de ensaios de calcário e outras rochas.

Ensaio	Absorção de água (%)
Resultado dos ensaios do Calcário	De 2,87 a 4,62
Encontrado na literatura para Agregado granítico e seixo (1)	0,34 a 0,68
outras rochas Agregado de gnaisse (2)	0,27 a 3,3
Rochas ornamentais e de revestimento (3)	0,13 a 1,45

Fonte: Autor 1) Vieira et al (2008)/Barbosa (2008); 2) Sandrini e Caranassios (2007)/Pinho (2003) 3) Altoé (2013)/Barison (1997).

4.1.2. Teste de Abrasão Los Angeles

O ensaio de abrasão Los Angeles foi realizado de acordo com a ABNT (1984) NBR 6465/84 e Brasil (1998), DNER ME-035/98, obedecendo os seguintes passos de execução:

- a) graduação da amostra: a amostra para ensaio, depois de ter sido submetido a britagem para redução de tamanho da graduação, teve a graduação D, entre as graduações de A a F previstas nas normas citadas, e massa de 5008 g, de acordo com o quadro 2 da norma Brasil (1998) DNER ME 035/98, referente ao material passado na peneira de 4,8 e retido na peneira de 2,4 mm;
- b) preparação da amostra: fixada a graduação adotada no ensaio, a amostra teve preparação de acordo com as indicações que seguem: material recebido foi lavado e seco até se verificar constância no peso, em estufa à temperatura de 105 a 110°C; determinou-se a massa da porção da graduação escolhida, conforme a massa especificadas no Quadro 2, da Brasil (1998) DNER ME 035/98, obedecendo a respectiva tolerância, obtendo assim m_n (massa da amostra seca, antes do ensaio);
- c) carga abrasiva: a carga abrasiva usada para a graduação foi indicada no Quadro 3 da Brasil (1998) DNER ME 035/98, verificando a necessidade de 6 esferas.
- d) Procedimento: foi efetuada a limpeza interna do tambor, colocando a amostra e a respectiva carga abrasiva e em seguida fechado; fez-se girar o tambor com velocidade de 30 rpm até completar 500 rotações, para a graduação D, conforme Quadro 2 da Brasil (1998) DNER ME 035/98; retirou-se em seguida todo o material do tambor, separando as esferas e limpando-as com a escova, e fez-se passar a amostra na peneira 1,7 mm rejeitando o material passante;

lavou-se o material na própria peneira (1,7 mm), reunindo-o e em seguida secando em estufa à temperatura de 105° C durante 24 horas; retirou-se o material da estufa, deixando esfriar e determinou-se a sua massa obtendo m'_n (massa da amostra lavada e seca após o ensaio);

e) Foram obtidos os valores: $m_n = 5008$ mg; e $m'_n = 2520$ mg.

4.1.2.1 Resultado

O resultado do teste de abrasão “Los Angeles” do agregado é calculada pela fórmula seguinte:

$$A_n = \frac{mn - m'n}{mn} \times 100$$

onde:

A_n = abrasão “Los Angeles” da graduação n com aproximação de 1%;

n = graduação D escolhida para o ensaio;

mn = massa total da amostra seca, colocada na máquina;

$m'n$ = massa da amostra lavada e seca após o ensaio.

O valor encontrado nestas condições foi de 49,68 %.

4.1.2.2 Comentários

O resultado obtido com o ensaio ficou quase no limite estabelecido pela ABNT (2009) NBR 7211/09 de 50% e bem superior ao constante da literatura para outros tipos de rocha, localizados na faixa de 19,8% a 44,2% (BESSA, 2011), incluindo ensaios feitos com agregados graúdos oriundos de rejeitos da construção civil.

4.1.3. Ensaio de compressão simples

Foram realizados 7 ensaios de compressão simples para verificação da resistência dos testemunhos da rocha calcária extraídos e ensaiados conforme passos dos itens seguintes.

4.1.3.1 Extração dos corpos de prova

Na extração dos corpos de prova foram obedecidos os critérios estabelecidos pela norma ABNT (2007) NBR 7680/07, emitida para disciplinar a retirada de testemunhos de blocos de concretos, mas que, devido à similaridade dos procedimentos e a ausência de norma específica para a extração de testemunhos de rocha, foi considerada adequada para reger os trabalhos desenvolvidos neste trabalho. Utilizou-se para isto blocos de rochas adquiridos da jazida da Pedreira do Galego, situada à Rua Severino José do Nascimento S/N, Bairro do Roger, em João Pessoa/PB (Figura 4.1), uma das duas autorizadas a extrair minério em uma das duas pedreiras, que ficam adjacentes e extraem materiais da mesma jazida, em funcionamento em João pessoa e região nos últimos 5 anos (mapa de localização conforme Figura 4.1a), de dimensões da ordem 0,4 a 0,5 m de diâmetro, conforme Figura 4.2. Para extrair os corpos de prova utilizou-se uma Extratora de Testemunhos mostrada na Figura 4.3, a qual foi colocada sobre uma plataforma a uma altura superior ao diâmetro dos blocos de rocha. Estes foram instalados sob a ponteira rotativa da máquina que os perfurava extraindo os testemunhos com 100 mm de diâmetro (Figura 4.4). Foram feitas extrações de 32 corpos de prova, tendo em vista que estava prevista a realização de 8 ensaios, em cinco épocas diferentes, com a utilização de 4 amostras em cada ensaio. Posteriormente, em função do tempo disponível e pela constatação da repetição de resultados, foi reduzido um ensaio, sendo, portanto, realizados 7 ensaios, em quatro épocas distintas, com a utilização de 28 corpos de prova.

Figura 4.1 – Jazida em funcionamento no Bairro do Roger



Fonte: Autor

Figura 4.1a – localização da jazida em funcionamento no Bairro do Roger



Fonte: Autor.

Figura 4.2 – Blocos de rocha para extração de testemunhos



Fonte: Autor

Figura 4.3 – Máquina extratora de testemunhos



Fonte: Autor

Após extraídos os testemunhos na quantidade desejada, eles foram levados à uma máquina de serrar pedras, visando a aparar das pontas e adequação ao tamanho 125 mm, dentro dos limites estabelecidos pela ABNT (2007) NBR 7680/07, conforme Figura 4.4.

Figura 4.4 – Corpos de prova extraídos e cortados de acordo com as normas da NBR 7680/07 (ABNT, 2007)



Fonte: Autor

4.1.3.2 Procedimentos dos Ensaios

Os ensaios foram realizados para analisar o comportamento dos corpos de prova quanto a sua resistência e manutenção de sua estrutura física diante da presença da água. Dessa forma, tem a pretensão de analisar o comportamento dos corpos de prova na condição saturada, com diversos tempos de saturação, e secos, também com vários tempos de secagem, após terem sido saturados por determinado período, para verificar a possibilidade de recuperação de resistência após a secagem. Assim sendo, no dia 26/02/2014 foram mergulhados todos os corpos de prova em água, os quais foram posteriormente retirados em diferentes tempos, que culminou com a adoção dos seguintes passos, cujos resultados acham transpostos nas Tabelas 4.6a a 4.6g:

- a) Em 27/02/2014, retirou-se da água os quatro primeiros corpos para serem ensaiados, deixando-os secar a temperatura ambiente por 24 horas, visando unicamente padronização de procedimentos, tal como deveria ocorrer com os demais ensaios;
- b) após secagem por 24 horas, os quatro corpos de prova foram medidos através de paquímetro e fita métrica, constante da Figura 4.5, com precisão de 0,5 mm e pesados em balança, constante da Figura 4.6, com precisão de 0,1 g;
- c) ainda em 28/02 os 4 corpos de prova medidos foram levados à prensa da marca EMIC – Equipamentos Mecânicos Industriais e Construção Civil, constante da Figura 4.7, no LABEME - Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas, da UFPB, para os ensaios de compressão axial simples;
- d) em 29/05 foram retirados da água 8 corpos de prova (3 meses após o primeiro rompimento), sendo quatro para ensaios após secagem em 24 horas à temperatura ambiente, e outros quatro para rompimento com 9 meses de

- secagem, mas que acabaram sendo reduzidos para 6 meses pelos motivos já expostos;
- e) no dia 30/05 foram feitas as medições, a pesagem e promovidos os rompimentos previstos nos passos **b** e **c** acima;
 - f) em 28/08 foram retirados da água mais 8 corpos de prova, sendo quatro para ensaios após secagem em 24 horas à temperatura ambiente, e outros quatro para rompimento com 6 meses de secagem, mas que acabaram sendo reduzidos para 3 meses;
 - g) em 29/08 foram feitas as medições, a pesagem e realizados os rompimentos previstos nos passos **b** e **c** acima;
 - h) no dia 26/11 foram colocados na água os quatro corpos de prova retirados em 29/05 e os quatro retirados em 28/08, para deixarem saturar por 24 horas, como feito no ensaio de dia 28/02;
 - i) em dia 27/11 foram retirados os 8 corpos colocados em água no dia 26/11 e outros 8 corpos que estavam mergulhados desde o dia 26/02, para secagem por 24 horas e posterior medições, pesagens e rompimentos, sendo desprezados os 4 últimos corpos de prova, de vez que seria encerrado ali os procedimentos de investigação propostos, em face de ter-se chegado a uma convicção quanto ao comportamento do material e devido ao esgotamento do tempo necessário para preparação da presente dissertação;
 - j) dia 28/11 foram feitas as medições, a pesagem e providenciados os rompimentos previstos nos passos **b** e **c** acima para os 16 corpos retirados da água no dia 27/11.

Figura 4.5 – Paquímetro utilizado nas medições dos corpos de prova



Fonte: Autor

Figura 4.6 – Balança usada na pesagem dos corpos de prova



Fonte: Autor

Figura 4.7 – Prensa usada no rompimento dos corpos de prova



Fonte: Autor

4.1.3.3 Resultados

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples e de análise física dos corpos de prova estão registrados nas Tabelas 4.6a a 4.6g.

Tabela 4.6a – Ensaio 1, com corpos de prova secos

Nº	Medidas Iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	Mergu-lho.	Retirada	Rompimento.	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	
1	102,5	124,0	2339,3	26/02	27/02	28/02	102,5	124,0	2339,3	18,42
2	101,2	123,5	2372,3	26/02	27/02	28/02	101,2	123,5	2372,3	16,16
3	101,7	124,0	2396,1	26/02	27/02	28/02	101,7	124,0	2396,1	18,47
4	101,1	126,0	2388,4	26/02	27/02	28/02	101,1	126,0	2388,4	13,70

Fonte: Autor. Legenda: D = diâmetro; H = altura; RC = resistência à compressão simples

Tabela 4.6b – Ensaio 2, com corpos de provas saturados por 90 dias

Nº	Medidas Iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	Mergu-lho.	Retirada	Rompimento.	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	
5	102,2	125,0	2455,7	26/02	29/05	30/05	101,7	124,4	2460,1	17,07
6	102,3	122,5	2306,4	26/02	29/05	30/05	101,2	121,5	2311,3	11,44
7	102,2	127,0	2400,7	26/02	29/05	30/05	101,2	126,6	2404,0	20,48
8	102,2	124,0	2392,0	26/02	29/05	30/05	101,3	123,4	2401,3	11,95

Fonte: Autor. Legenda: D = diâmetro; H = altura; RC = resistência à compressão simples

Tabela 4.6c – Ensaio 3, com corpos de provas saturados por 90 dias e secos por 90 dias

Nº	Medidas Iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	Mergu-lho.	Retirada	Rompimento.	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	
21	101,9	127,0	2383,7	26/02	29/05	29/08	101,2	125,0	2343,1	15,70
22	101,9	126,0	2376,2	26/02	29/05	29/08	101,0	124,0	2392,8	24,16
23	101,9	126,0	2369,1	26/02	29/05	29/08	100,7	124,4	2384,0	15,94
24	101,9	125,0	2397,2	26/02	29/05	29/08	101,1	124,4	2403,9	12,39

Fonte: Autor. Legenda: D = diâmetro; H = altura; RC = resistência à compressão simples

Tabela 4.6d – Ensaio 4, com corpos de prova saturados por 180 dias

Nº	Medidas Iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	Mergu-lho.	Retirada	Rompimento.	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	
13	102,2	124,0	2401,8	26/02	28/08	29/08	100,9	123,0	2406,5	31,21
14	101,5	125,0	2354,4	26/02	28/08	29/08	100,7	123,3	2369,9	16,56
15	101,9	126,0	2382,9	26/02	28/08	29/08	101,1	122,5	2384,4	12,75
16	101,9	122,0	2283,4	26/02	28/08	29/08	101,2	120,2	2306,2	19,37

Fonte: Autor. Legenda: D = diâmetro; H = altura; RC = resistência à compressão simples

Tabela 4.6e – Ensaio 5, com corpos de provas saturados por 90 dias e secos por 180 dias

Nº	Medidas Iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	Mergu-lho.	Retirada	Rompimento.	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	
9	102,2	124,0	2383,1	26/02	29/05	28/11	101,1	123,8	2287,8	21,94
10	102,2	125,4	2412,3	26/02	29/05	28/11	101,2	125,2	2317,7	19,02
11	102,6	125,8	2397,2	26/02	29/05	28/11	101,4	125,4	2307,5	15,72
12	102,6	125,0	2396,9	26/02	29/05	28/11	101,0	124,2	2297,3	24,43

Fonte: Autor. Legenda: D = diâmetro; H = altura; RC = resistência à compressão simples

Tabela 4.6f – Ensaio 6, com corpos de provas saturados por 180 dias e secos por 90 dias

Nº	Medidas Iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	Mergu-lho.	Retirada	Rompimento.	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	
17	101,9	126,0	2273,2	26/02	28/08	28/11	101,1	125,3	2122,2	18,58
18	101,9	125,0	2370,7	26/02	28/08	28/11	101,2	124,1	2269,2	21,83
19	101,9	124,8	2394,1	26/02	28/08	28/11	100,5	124,4	2298,8	23,79
20	101,9	125,0	2420,9	26/02	28/08	28/11	101,2	124,8	2332,9	22,81

Fonte: Autor. Legenda: D = diâmetro; H = altura; RC = resistência à compressão simples

Tabela 4.6g – Ensaio 7, com corpos de provas saturados 270 dias

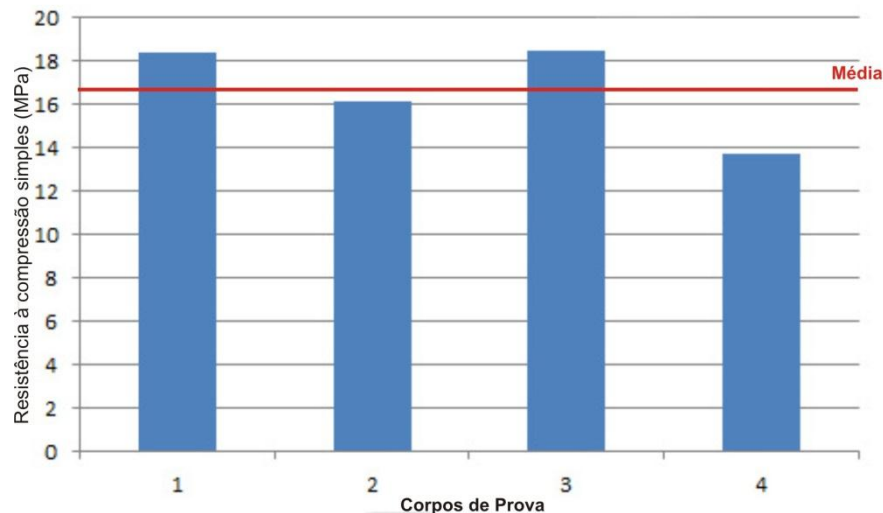
Nº	Medidas Iniciais			Datas			Medidas finais			RC (MPa)
	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	Mergu-lho.	Retirada	Rompimento.	D (mm)	H (mm)	Massa (g)	
25	101,2	125,0	2364,6	26/02	27/11	28/11	100,3	124,8	2379,0	11,19
26	102,2	127,0	2281,3	26/02	27/11	28/11	100,8	125,5	2303,0	12,13
27	101,9	127,0	2384,6	26/02	27/11	28/11	101,3	124,8	2401,2	17,78
28	101,5	126,0	2400,9	26/02	27/11	28/11	101,1	124,9	2406,1	15,70

Fonte: Autor. Legenda: D = diâmetro; H = altura; RC = resistência à compressão simples

4.1.3.4 Comentários

Para melhor análise, os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples, constantes das Tabelas 4.6a a 4.6g, estão representados nos gráficos das Figuras 4.8 a 4.13 a seguir:

Figura 4.8 – Gráfico dos corpos de prova secos x resistência à compressão simples



Fonte: Autor

Figura 4.9 – Gráfico dos corpos de prova saturados x resistência à compressão Simples

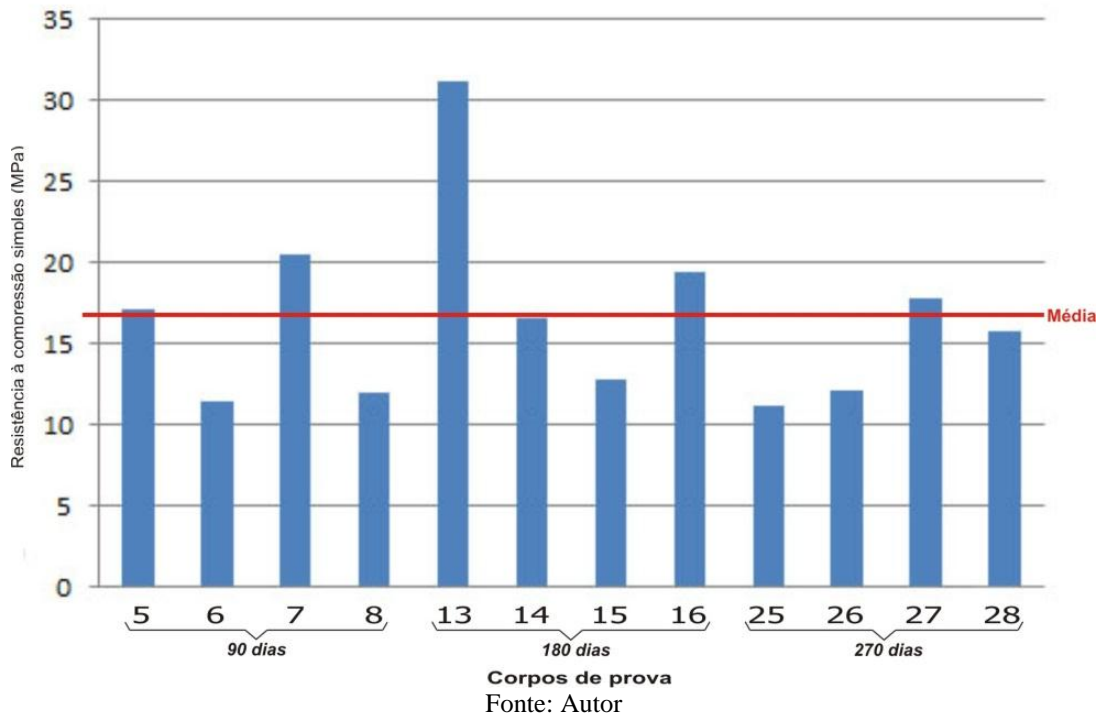


Figura 4.10 – Gráfico dos corpos de prova saturados e secos x resistência à compressão Simples

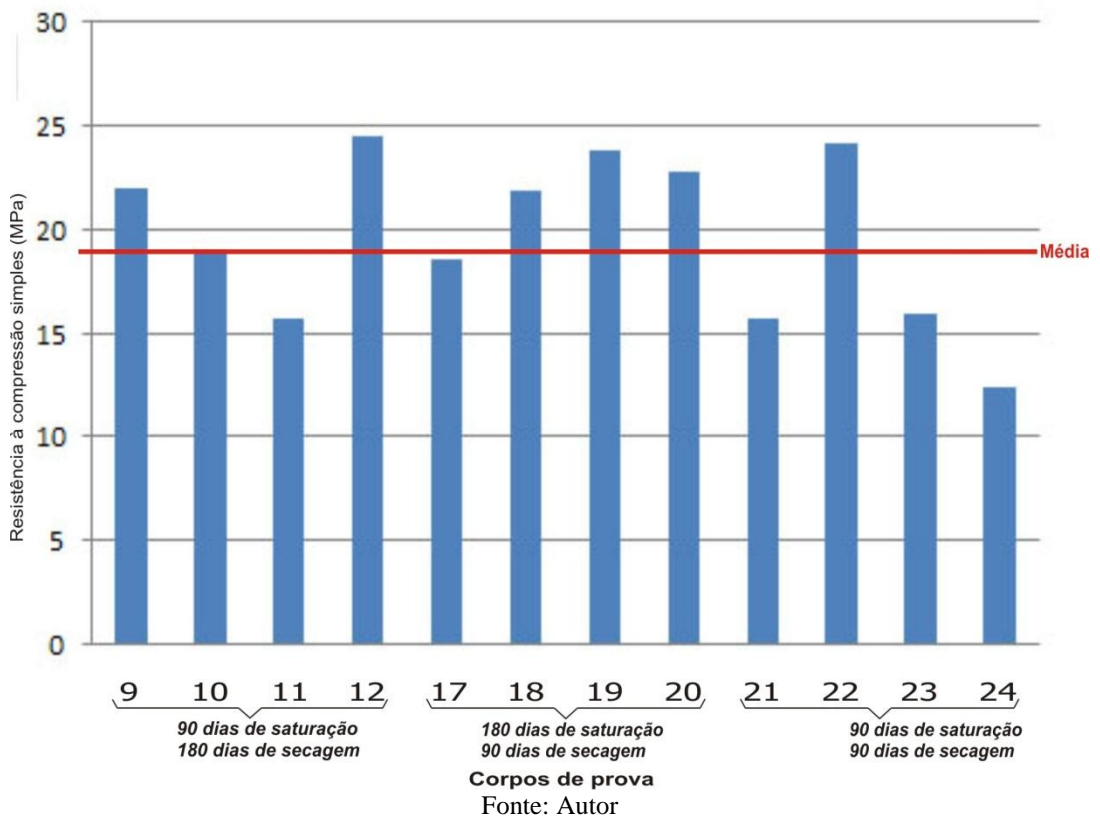
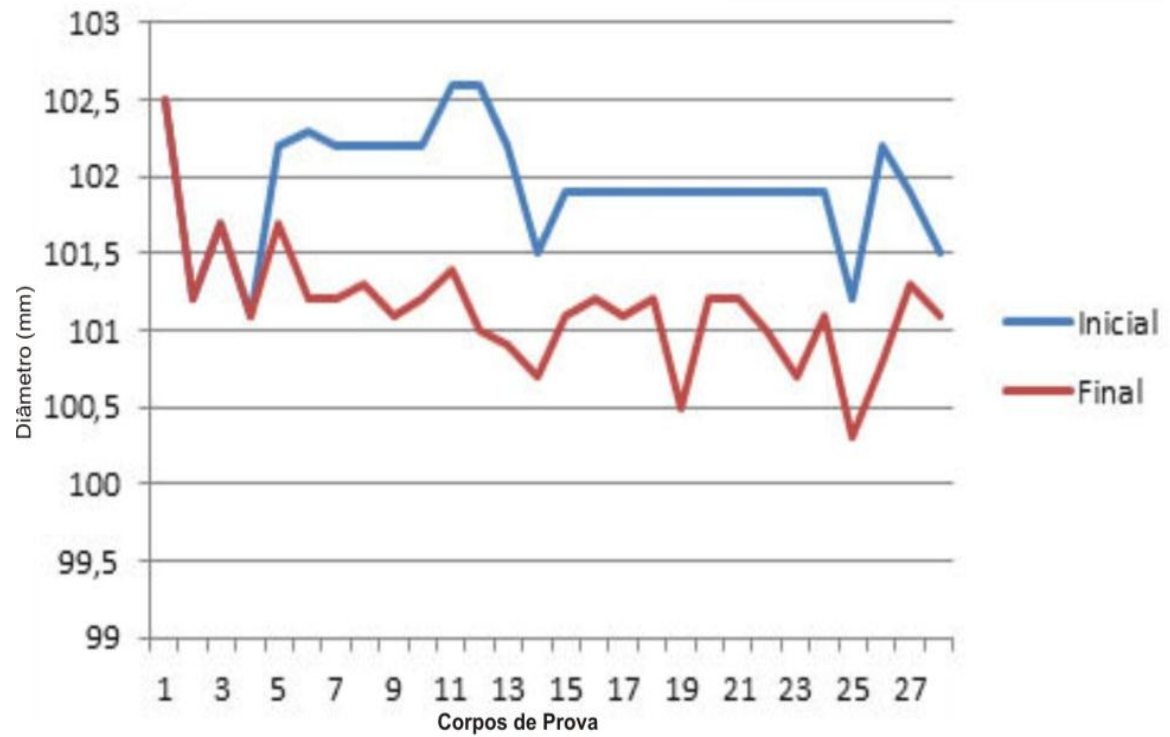


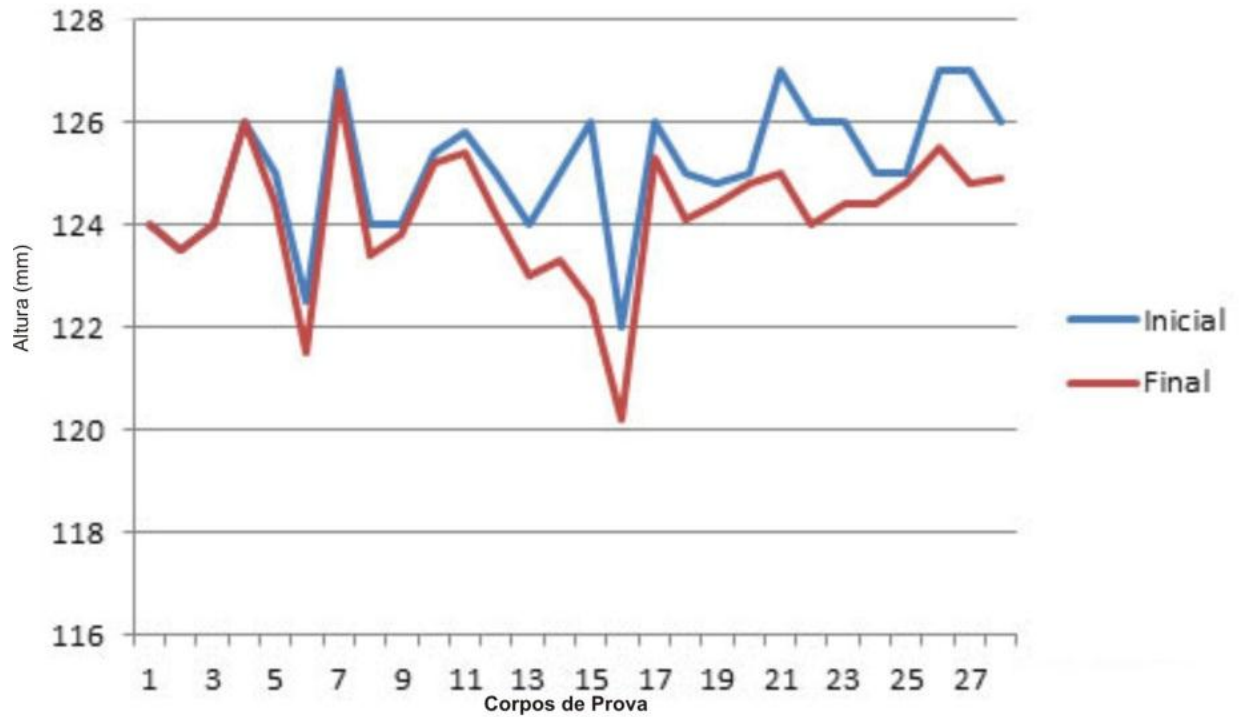
Figura 4.11 – Gráfico corpos de prova x diâmetro



Fonte: Autor

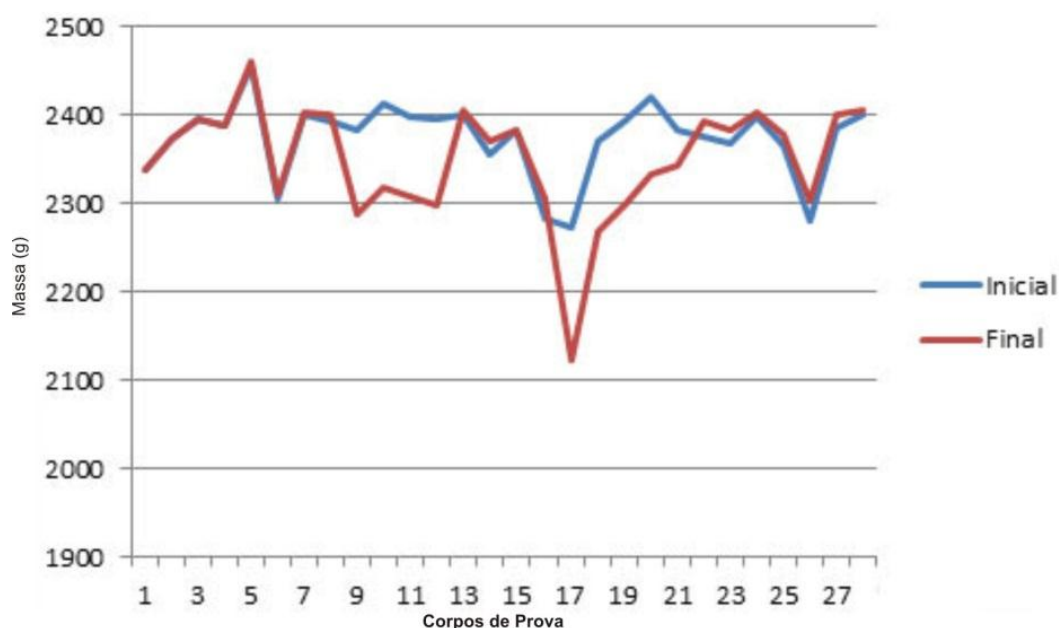
]

Figura 4.12 – Gráfico corpos de prova x altura



Fonte: Autor

Figura 4.13 – Gráficos corpos de prova x peso



Fonte: Autor

Estes resultados dos ensaios de compressão axial merecem análise peculiar, de vez que foram efetuados os ensaios em condições de saturação e de secagem, em tempos diferenciados. O objetivo foi fazer conceito sobre o comportamento dos referidos corpos em condições diferentes. Apresenta-se por isso, para uma melhor visualização dos resultados, um resumo no quadro constante da Tabela 4.7 abaixo.

Tabela 4.7 – Resumo dos resultados médios por tempo de saturação

Corpos de prova	Data do ensaio	Tempo de saturação (meses)	Tempo de secagem (meses)	Resultado Média (MPa)
De 1 a 4	28/02	0	0	16,69
De 5 a 8	30/05	3	0	15,23
De 13 a 16	29/08	6	0	19,97
De 9 a 12	28/11	3	6	20,28
De 17 a 20	28/11	6	3	21,75
De 21 a 24	29/08	3	3	17,04
De 25 A 28	28/11	9	0	14,20

Fonte: Autor

A partir da média dos resultados de cada ensaio não houve possibilidade de se chegar a conclusões razoáveis, posto que dentro de cada ensaio houve acentuada variação nos resultados apresentados pelo rompimento dos corpos de prova. Por exemplo, no primeiro ensaio efetuado em 28/02, no início do processo de pesquisa, o corpo de prova nº 04, rompeu-se com apenas 13,7 MPa, muito abaixo da média dos outros 3 corpos de prova que foi de 17,7

MPa. Circunstância que reduziu consideravelmente a média global do mencionado ensaio. Idêntica situação foi observada nos demais ensaios, em alguns casos, inclusive, mais de um corpo de prova apresentaram comportamento bastante divergente dos outros. A explicação para essa discrepância é muito simples. Em testemunhos retirados de rochas não se é possível garantir que todos eles tenham as mesmas características de angulo de clivagem e estado de sanidade da rocha. Trata-se de características que possui fundamental importância na resistência da rocha. Para se obter resultados parecidos os corpos de prova deveriam ter sido tirados no mesmo angulo de clivagem e no mesmo estado de sanidade. Em face disso, foram encontrados resultados variando de 11 a 31 MPa, dificultando assim ao processo de conclusão sobre a capacidade da rocha de resistir a esforços.

Em face disso ficou absolutamente prejudicada a análise sob o aspecto do acréscimo, ou redução, da resistência da rocha com presença de água ao longo do tempo. Por outro lado, observa-se que os tempos utilizados no exercício foram insuficientes para se conseguir resultados confiáveis. Acredita-se que em tempo mais longos seria possível obter resultados mais conclusos com os ensaios.

Há também certa deficiência na quantidade de amostras ou testemunhos usados em cada ensaio. A utilização de uma quantidade maior de corpos de prova, com certeza a média dos resultados estaria mais próxima da realidade.

Ainda assim, pode se observar algumas tendências do material que merecem reflexão. A média de todos os corpos de prova ensaiados giraram em torno de 17,9 MPa. Isto significa que, se as rochas em questão fossem lançadas aleatoriamente em um sistema de concreto ciclópico, as rochas individualmente proporcionariam a esse elemento estrutural, sem levar em conta a resistência do agregado miúdo, que neste caso teria função apenas de preenchimento de vazios, e do elemento aglomerante, uma resistência em torno de 18 MPa. Ainda, tomando como base as médias dos ensaios de corpos saturados, separadamente dos ensaios realizados com corpos secos, observou-se que os corpos saturados tiveram média de 18,3 MPa e os corpos secos ficaram com uma média de 19,6 MPa. Pode-se afirmar, tais resultados, levando em conta que a média do ensaio inicial que foi de 17,7 MPa, antes de qualquer saturação, e desprezando o resultado do corpo de prova n° 04, por razões óbvias, e a ínfima diferença de apenas 1,1 MPa existente entre os grupos saturados e não saturados, que a presença da água na realidade pode provocar um acréscimo de resistência na rocha. Isso pode ser explicado pela reação que a água provoca em alguns elementos de constituição da rocha ocasionando aumento da pressão que força as moléculas a se aproximarem, o que por sua vez aumenta a intensidade das forças intermoleculares (BROWN; LEMAY JR; BURSTEN,

2010). Tal comportamento pode também ser observado se em cada ensaio forem excluídos os corpos de prova que tiveram resultados totalmente atípicos, tanto aqueles com resultados muito abaixo ou muito acima, considerando, neste caso, apenas a média daqueles cujos resultados observaram a mesma tendência, ou seja, os corpos saturados tiveram média de 19,3 MPa e os corpos secos 20,1 MPa, o que comprova o raciocínio anterior, desprezando também a diferença de apenas 0,8 MPa entre o grupo saturado e não saturado, que podem ter ocorrido pelas discrepâncias dos corpos de prova já comentados, comparando apenas com o resultado do ensaio inicial de 28/02.

Constata-se ainda que, de acordo com Deere e Miller (1966), a média geral girada em torno de 18 MPa apurada nos ensaios classifica a rocha como de muito baixa resistência, conforme a Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Classificação das Rochas quanto à resistência

Classe	Descrição	Resistência à Compressão Simples (MPa)
A	Resistência muito elevada	>200
B	Resistência elevada	100 -200
C	Resistência média	50 – 100
D	Resistência baixa	25 – 50
E	Resistência muito baixa	< 25

Fonte: Deere e Miller, 1966

Por outro lado, os ensaios não tiveram como objetivo apenas verificar a resistência à compressão dos referidos corpos de prova. Estavam embutidos nos ensaios outros procedimentos de análise do estado físico dos corpos, através de levantamentos por medição das dimensões externas e pesagem dos corpos de prova. Assim, foi fácil constatar uma tendência apresentada quando se levou em conta a presença da água.

Além das medições e pesagem também foram feitas análises táteis visuais nos corpos de provas no momento de sua retirada da água. Foi constatado em todos os três ensaios nessas condições, que os corpos de prova estavam envoltos em um líquido viscoso esbranquiçado e percebeu-se nitidamente que, após lavagem desse líquido, os corpos apresentavam uma textura mais abrasiva que os observado no primeiro ensaio de 28/02, os quais possuíam a superfície bastante lisa, proporcionado pela lapidação do equipamento encarregado da retirada dos testemunhos. Indicando assim que a água provocou mudanças de caráter físico naqueles corpos de prova.

Em que pese a dificuldade de se conseguir um equipamento de medição com a precisão de décimos de milímetros, pode-se constatar, entretanto, com muita nitidez, mesmo com o exíguo tempo disponível para efetivação dos ensaios, a redução ocorrida no tamanho

dos corpos de prova, tanto do seu diâmetro, quanto na sua altura, e mais ainda na redução da massa da maioria dos corpos de prova, conforme bem visualizado nos gráficos que compõe as Figuras 4.11, 4.12 e 4.13, vistos anteriormente. Isto mostra que o tempo de exposição na água interfere gravemente na constituição do material dos corpos de prova.

É óbvio que não se pode levar em conta o acréscimo no peso ocorrido entre a data em que foram colocados na água, de 28/02, e a data de retirada da água, ocorridas em 30/05, 28/08 e 28/11, pois nestes últimos estão embutidos obviamente os acréscimos da saturação dos corpos de prova. Mas foi possível verificar a redução de peso dos corpos de prova ocorrida entre a primeira pesagem, 28/02, e data último ensaio, de 28/11, para aqueles corpos que foram retirados da água em 29/05 e 27/08 e secados ao natural em condições da temperatura ambiente, provando que houve perda de massa dos corpos de prova mergulhados e retirados posteriormente para secagem. Esta informação fica mais patente quando se percebe que a redução de massa foi maior para os corpos retirados em 28/08, após seis meses de saturação, do que aqueles retirados em 29/05, com 3 meses mergulhados em água. Trata-se de resultado que coincide com a redução do tamanho, já constatada no parágrafo precedente.

4.2 Ensaio de Campo

Para inspeção e coleta de materiais das fundações foram utilizadas sondagens a trado. De acordo com a definição da ABGE (1990), trata-se de um método de investigação que emprega o trado, um tipo de amostrador de solo constituído por lâminas cortantes que podem ser espiraladas (do tipo trado helicoidal ou espiralado), ou convexas (do tipo trado concha ou cavadeira).

As amostras foram coletadas através de sondagem manual com trado tipo cavadeira, modelo “Tarza”, diâmetro de 6”. Este método de investigação do subsolo é um processo simples, rápido e econômico e atende a finalidade de reconhecimento preliminar das condições geotécnicas superficiais. Através do trado manual foi possível descobrir as fundações para coleta das amostras e determinar o nível d’água na maioria dos ensaios. O equipamento é composto por hastes de ferro com 1 m de comprimento, diâmetro interno de 3/4” contendo roscas nas extremidades, barra para rotação em T e luvas para junção das hastes e trado tipo cavadeira. Todas as amostras coletadas foram devidamente identificadas e acondicionadas em sacos plásticos.

Foram coletadas 43 amostras de rochas usadas nas fundações analisadas, as quais foram extraídas através da utilização de um cinzel e uma marreta, após o furo efetuado por

trado. Em seguida foi feita análise tátil-visual da amostra e dos solos adjacentes, para verificação das suas características e do nível freático no local. O volume de material coletado por amostra variou entre 50 g a 75 g.

Das amostras coletadas em diferentes regiões durante os levantamentos de campo, inicialmente apenas cinco delas, escolhidas por diferenciar visualmente do conjunto de amostras e por pertencerem a tempos diferentes de construção, foram submetidas a ensaios de Microscopia Eletrônica por Varredora (MEV), com o objetivo de analisar a constituição dos materiais e comparação com o material retirado das jazidas.

Inicial pretendia-se fazer a análise de todas as amostras, caso aquelas amostras analisadas inicialmente apresentassem resultados muito divergentes. Entretanto, devido aos custos dos ensaios e ao tempo disponível dos laboratórios, bem como a similaridade de resultados verificados nas primeiras amostras, originárias de categorias bem diferentes de coletas, além de outros critérios como as análises táteis e visuais, circunstância que levaram à conclusão de que os demais resultados teriam a probabilidade de serem absolutamente análogos, optou-se por encerrar os ensaios MEV com apenas cinco amostras, convictos de que já havia informação suficiente para subsidiar os resultados vislumbrados no trabalho.

4.2.1 Locais visitados

Buscando estabelecer uma maior representatividade das amostras, procurou-se abranger toda a área de estudo, observando as diversas formas de relevo da área, bem como priorizando, por considerar a possibilidade de maiores riscos, as áreas adjacentes a lençóis freáticos aflorantes, tais como lagos, rios, vazantes e brejos.

Assim sendo, optou-se por fazer sondagem, conforme mapa da Figura 4.14, com a seguinte distribuição:

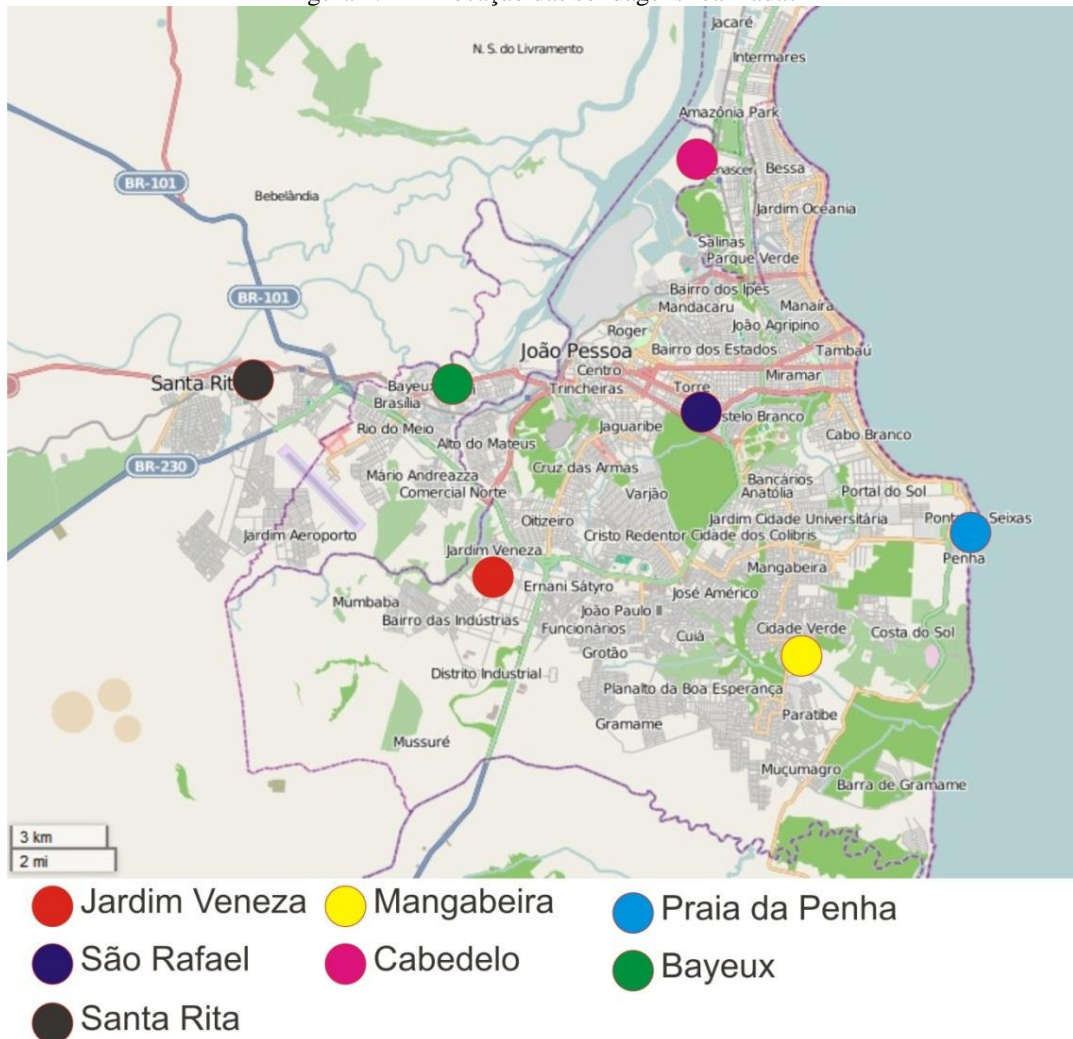
- a) dentro do Município de João Pessoa em áreas adjacentes às Três Lagoas, nos Bairro do Jardim Veneza e Oitizeiro, com 6 sondagens; na Região da Comunidade São Rafael, às margens do Rio Jaguaribe, com 5 sondagens; No Bairro de Mangabeira, às margens do rio Cuiá, com 6 sondagens; na Praia da Penha, em rua paralela localizada a menos de 50 metros da praia, com 5 sondagens;
- b) no município de Cabedelo, no bairro Renascer, às margens do Rio Paraíba, com 7 sondagens;

- c) no município de Bayeux, no bairro da Ilha do Bispo, às margens do Rio Sanhauá, com 7 sondagens; e
- d) no Município de Santa Rita, no bairro Várzea Nova, nas proximidades do Rio Paraíba, também com 7 sondagens.

Os furos ainda foram divididos por tempo de construção das fundações:

- 6 fundações com 5 anos de idade;
- 8 fundações com 10 anos de idade;
- 10 fundações com 15 anos de idade;
- 7 fundações com 20 anos de idade;
- 4 fundações com 25 anos de idade;
- 3 fundações com 30 anos de idade; e
- 5 fundações com mais de 35 anos.

Figura 4.14 – Locação das sondagens realizadas



Fonte: Autor

4.2.2 Método utilizado

Conforme descrito anteriormente cada sondagem foi efetuada através de furos, realizadas com um trado (Figura 4.15) de 6 polegadas ao lado da fundação, conforme fotos mostradas nas Figuras 4.16a e 4.16b,. Descoberto o material da fundação, foi medida a sua profundidade a partir do nível superior do terreno onde construída e extraiu-se uma pequena lasca da rocha para análise química do material. Foi feita a escovação da rocha descoberta para análise visual e ainda a tentativa de ranhura manual da rocha com objeto pontiagudo de aço, para avaliar a facilidade com que a rocha permitia a penetração na sua face. Prosseguiu-se a perfuração até localizar o lençol freático, encerrando o furo com um máximo de 3 metros, caso não fosse localizado o lençol até essa profundidade.

Figura 4.15 – Modelo de trado utilizado



Fonte: Autor

Figura 4.16a – Fotos de furos realizados e de locais de perfuração



(a)



(b)



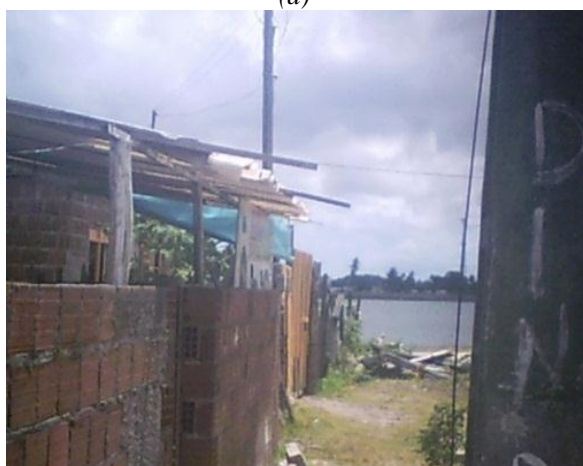
(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: Autor. As fotos *a* e *b*, são furos da amostra 1, retirados da residência de Leda dos Santos, Rua José Mariano, Jardim Veneza, Fundação a 0,6 m, lençol freático a 1,8 m de profundidade, com 10 anos de construída. As fotos *c* e *d* são dos furos da amostra 2 da residência de Lenivo Alves Camelo, Rua Antonio Alves Moraes, Jardim Veneza, Fundação a 0,9 m, lençol freático a 2,3 m de profundidade, com 5 anos de construída; as fotos *e* e *f* são os furos da amostra 3 da residência de Gilson Fernandes da Silva, Rua Francisco Rabelo, Jardim Veneza, Fundação a 0,6 m, lençol freático a 1,5 m de profundidade, com 15 anos de construída;

Figura 4.16b – Fotos de furos realizados e de locais de perfuração



4.2.3 Comentários

Os ensaios de campo consistiram basicamente na perfuração para análise tátil visual do estado das fundações e para retirada de amostra do elemento de fundação para exame químico.

Os exames químicos efetuados em parte das amostras serão comentados na análise das combinações químicas entre os elementos constituintes remanescentes dessas fundações.

A análise tátil visual foi realizada escovando as partes descobertas da fundação para verificação de sua cor e estado de conservação. Foi verificado que nas fundações com mais de 20 anos havia uma alteração na sua cor, as quais se tornavam um pouco mais esbranquiçadas. Ao retirar uma lasca dessas rochas com uma cor diferente para a devida análise química, percebeu-se que apenas uma capa finíssima da parte em contato com o solo adjacente da fundação conservava esse tom esbranquiçado. O resto mantém a cor original da rocha. Também, através de um pedaço de aço (vergalhão) com uma ponta aguda, foram feitas tentativas de arranhar os elementos da fundação. Esse procedimento não se apurou, em nenhuma das fundações, diferenças na dificuldade de execução das ranhuras das amostras encontradas nas jazidas.

Outro fato importante é que não se verificou em nenhuma das residências analisadas trincas que viessem a ser atribuídas a problemas de fundação. Todos os defeitos reclamados pelos proprietários advinham dos processos construtivos inadequados, tais como ausência de vigamento superior para suportar a estrutura do telhado ou ausência de contra vergas ou contra marcos nas portas e janelas.

Em decorrência da possibilidade de dissolução das rochas calcárias usadas nessas fundações, instigadas pela presença da presença de água por alagamentos constantes nessas áreas, essas fundações fossem sendo reduzidas de tamanho e a estrutura da casa fosse ao longo do tempo sendo rebaixada, acompanhando a redução do volume do elemento que as sustentam. Em muitas das residências foi observada a existência de ranhuras ou rachaduras entre o piso e as paredes. Circunstância que denuncia um rompimento de ligação da lateral do piso com a parte inferior das paredes. Isto pode ser creditado, tanto ao movimento vertical da parede, em função de possíveis recalques da fundação, quanto a retrações ocorridas nos pisos, construídos sem juntas de dilatação. Na análise de algumas rachaduras ocorridas nestas circunstâncias, as quais não foram possíveis a execução de fotos de boa qualidade, percebe-se que a marca deixada pelo piso na parede após o rompimento está a alguns milímetros abaixo do nível do piso, denunciando assim que existiram recalques na fundação e que o piso não acompanhou esse recalque.

4.3 Ensaio químicos

De acordo com o cronograma deste trabalho foram efetuados ensaios químicos para verificação da composição da rocha calcária, os quais serão descritos a seguir.

4.3.1 Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV)

Foi realizado ensaio de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) para uma amostra retirada da jazida em funcionamento em João Pessoa e para as amostras retiradas dos ensaios de campo, conforme está a seguir demonstrado.

4.3.1.1 Análise da Amostra da Jazida

O ensaio foi efetuado pelo Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LAMEV) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, de uma amostra do material colhido em jazida em funcionamento na região: Pedreira do Galego, situada à Rua Severino José do Nascimento S/N, Bairro do Roger, em João Pessoa (PB), Cabendo informar que mais duas pedreiras existentes, que fornecem materiais para a Construção Civil, uma, porém, está desativada há mais de cinco anos por irregularidades ambientais, com difícil possibilidade de retorno de funcionamento, e a outra funciona adjacente à Pedreira do Galego, e extrai material da mesma encosta da jazida utilizada no presente trabalho. No ensaio foram analisados 3 pontos distintos de cada amostra, onde foi possível constatar a composição da rocha, com seus elementos principais, podendo afirmar com segurança a constituição real dos elementos que compõe a sua estrutura. Na Tabela 4.9 estão registrados os resultados dos pontos analisados e a média dos três pontos. Apresenta-se a seguir apenas o resultado do percentual de composição do elemento na constituição do material por constituir na única informação necessária à análise do material, já incorporada a presença do Oxigênio. O resultado original detalhado de cada elemento individualmente fornecido pelo laboratório está demonstrado no ANEXO E.

Tabela 4.9 – Resultados pelo percentual de composição da amostra retirada da jazida

Elemento	Fórmula	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Média
Dióxido de Carbono	CO ₂	40,186	32,586	48,420	40,397
Óxido de magnésio	MgO	1,337	2,714	0,760	1,604
Óxido de Alumínio	Al ₂ O ₃	1,821	2,639	0,910	1,79
Dióxido de Silício (Silicato)	SiO ₂	3,744	5,635	1,902	3,760
Pentóxido de Fósforo	P ₂ O ₅	0,000	4,495	0,000	4,495
Óxido Sulfúrico	SO ₃	1,294	1,835	1,220	1,450
Óxido de Potássio	K ₂ O	0,621	0,911	0,000	0,766
Óxido de Cálcio (Cal)	CaO	50,996	49,185	46,790	48,991
Total		100	100	100	100

Fonte: Autor

4.3.1.2 Análise de Amostras retiradas de Fundações.

Foi efetuada microscopia eletrônica de varredura (MEV), pelo Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais do Instituto UFPB de Desenvolvimento do Estado da Paraíba (LTNM-IDEP) da Universidade Federal da Paraíba, de cinco amostras do material colhido de fundações analisadas. Foram analisados 5 pontos distintos de cada amostra, onde foi possível constatar a composição da rocha, com seus elementos principais, com o intuito de observar a constituição dos elementos que compõe a sua estrutura. Nas Tabelas 4.10 a 4.14 estão registrados os resultados dos 5 pontos das 5 amostras analisadas e o resumo de cada uma das amostras. Tendo em vista que a análise destas amostras foram efetuadas em equipamento que não faz a detecção de gases como o Oxigênio e Dióxido de Carbono, apresenta-se apenas o resultado do percentual do peso de cada elemento na constituição do material, por constituir em única informação necessária à análise do material. O resultado detalhado de cada elemento individualmente fornecido pelo laboratório encontra-se no ANEXO F.

Tabela 4.10 – Amostra 1 retirada das fundações

Elemento	Símbolo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média
Sódio	Na	0,84	0	0,59	0	0,6	0,406
Magnésio	Mg	13,96	0,2	1,27	0,3	2,53	3,652
Alumínio	Al	5,5	0	0,32	0	0,87	1,338
Silício	Si	12,58	0,67	2,86	10,54	28,18	10,966
Fósforo	P	2,58	0,7	1,45	1,18	0	1,182
Enxofre	S	4,79	0,34	0,8	3,52	2,79	2,448
Potássio	K	1,05	1,93	1,96	0,93	6,37	2,448
Cálcio	Ca	51,7	32,71	58,23	13,99	46,33	40,592
Ferro	Fe	7,01	63,46	32,51	69,54	12,33	36,970
Total		100	100	100	100	100	100

Fonte: Autor

Tabela 4.11 – Amostra 2 retirada das fundações

Elemento	Símbolo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média
Sódio	Na	3,32	1,94	3,51	2,64	2,26	2,734
Magnésio	Mg	4,4	3,58	2,83	3,63	3,59	3,606
Alumínio	Al	2,34	1,99	0,88	2,22	1,79	1,844
Silício	Si	3,78	12,74	4,93	6,9	3,43	6,356
Fósforo	P	2,83	3,1	2,66	3,3	3,01	2,980
Enxofre	S	3,08	2,49	1,75	3,59	2,43	2,668
Potássio	K	1,73	1,17	0,25	2,18	1,63	1,392
Cálcio	Ca	76,82	68,73	82,49	73,83	78,9	76,154
Ferro	Fe	1,69	4,27	0,69	1,7	2,65	2,2
Total		100	100	100	100	100	100

Fonte: Autor

Tabela 4.12 – Amostra 3 retirada das fundações

Elemento	Símbolo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média
Sódio	Na	2,58	1,19	14,37	3,27	2,4	4,762
Magnésio	Mg	3,43	2,56	3,46	3,6	2,99	3,208
Alumínio	Al	2,41	1,88	2,46	1,6	2,07	2,084
Silício	Si	7,49	20,29	8,15	16,73	18,11	14,154
Fósforo	P	2,91	3,67	3,34	2,7	2,75	3,074
Enxofre	S	6,04	6,12	10,88	7,42	6,72	7,436
Potássio	K	1,27	1,53	1,12	0,7	0,75	1,074
Cálcio	Ca	65,11	59,36	51,07	61,14	61,09	59,554
Ferro	Fe	8,76	3,39	5,15	2,85	3,12	4,654
Total		100	100	100	100	100	100

Fonte: Autor

Tabela 4.13 – Amostra 4 retirada das fundações

Elemento	Símbolo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média
Sódio	Na	1,66	2,63	2,89	0	2,75	1,986
Magnésio	Mg	4,66	31,96	2,51	3,79	4,4	9,464
Alumínio	Al	1,62	5,89	1,64	1,24	2,24	2,526
Silício	Si	41,26	4,83	9,13	2,91	5,68	12,762
Fósforo	P	1,98	2,66	2,39	2,37	2,1	2,300
Enxofre	S	4,8	4,62	5,69	3,55	3,98	4,528
Potássio	K	7,11	0,99	2,4	0,84	1,14	2,496
Cálcio	Ca	25,75	44,53	68,82	83,6	75,19	59,578
Ferro	Fe	11,16	1,9	4,53	1,7	2,52	4,362
Total		100	100	100	100	100	100

Fonte: Autor

Tabela 4.14 – Amostra 5 retiradas das fundações

Elemento	Símbolo	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Média
Sódio	Na	38,22	46,18	40,92	36,96	34,81	39,418
Magnésio	Mg	5,75	5,35	6,7	1,27	1,95	4,204
Alumínio	Al	7,49	1,56	7,46	1,57	2,94	4,204
Silício	Si	11,31	3,15	10,69	49,75	12,1	17,400
Fósforo	P	13,38	20,48	13,6	0	12,47	11,986
Enxofre	S	11,61	17,08	11,03	2,24	14,67	11,326
Potássio	K	4,99	1,95	3,93	1,93	8,42	4,244
Cálcio	Ca	3,62	0	3,47	2,52	8,4	3,602
Ferro	Fe	3,65	4,24	2,21	4,56	4,24	3,780
Total		100	100	100	100	100	100

Fonte: Autor

4.3.2. Difração de raio X (DRX)

De acordo com o ANEXO G, onde está detalhado o resultado do ensaio, realizado pelo Laboratório Raios-X da Universidade Federal do Ceará, de uma amostra do material colhida na jazida Pedreira Galego João Pessoa – PB com peso de 1,251 g triturado, onde foi possível constatar a composição da rocha, com seus elementos principais, podendo afirmar com segurança a constituição real dos elementos que compõe a sua estrutura, conforme Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Resultado da Difração de Raio X

Elemento	Fórmula	Massa(mg)	Composição (%)
Óxido de Alumínio	Al ₂ O ₃	113	1,5953
Dióxido de Silício (Silicato)	SiO ₂	114	5,7798
Pentóxido de Fósforo	P ₂ O ₅	115	0,5799
Trióxido de Enxofre	SO ₃	116	0,5452
Cloro	Cl	17	0,0185
Óxido de Potássio	K ₂ O	119	1,2902
Óxido de Cálcio (Cal)	CaO	120	85,5890
Óxido de Manganês	MnO	125	0,1212
Óxido de Ferro	Fe ₂ O ₃	126	4,2007
Óxido Estrôncio	SrO	138	0,1104
Óxido de Cadmio	CdO	148	0,1701

Fonte: Autor

4.3.3. Comentários

Os resultados apresentados na Tabela 4.9 mostra o resumo de análise de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) de amostra extraídas de jazida em Pedreira de João Pessoa e a Tabela 4.15 apresenta da Difração e Raio X de material dessa mesma jazida. As Tabelas 4.10 a 4.14 mostram os resultados de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) de amostras extraídas de fundações de prédios construídos em diversas épocas. Tais resultados estão também reproduzidos na íntegra nos Anexos *E* a *G*, e como pode ser observado, o Anexo *E* reproduz os resultados da Tabela 4.9, onde o equipamento utilizado permitiu constatar a presença dos gases Dióxido de Carbono (CO₂) e Oxigênio (O). Percebe-se, contudo, que os ensaios mostrados no anexo F foram realizados por equipamento que não detectam a presença de gases.

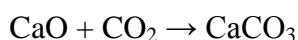
Para interpretação dos resultados, em qualquer deles a análise detectou os elementos que constitui a amostra, separando-os individualmente, mesmo que, em alguns casos, eles estejam fazendo parte de alguma ligação que abranja dois ou mais elementos. No caso do calcário, os resultados do anexo E mostra a composição dos elementos Cálcio, Carbono e Oxigênio individualmente, mas sabe-se que eles fazem parte de algumas ligações como o Óxido de Cálcio (CaO) e o Dióxido de Carbono (CO₂), que por sua vez pertencem a uma outra ligação de Carbonato de Cálcio (CaCO₃). O caso específico do Anexo E, resumido na tabela 4.9, a soma dos elementos Carbono (C) e Cálcio (Ca), que redundaram na ligação Carbonato de Cálcio, representam 89,4% da composição da amostra. Ou seja, apenas 10,6% da rocha calcária é constituída pelos restantes dos elementos.

O ensaio de Difração de Raio X do Anexo G, que analisou amostra do mesmo material, também não consegue detectar a presença do Carbono e do Oxigênio, mas, dado o

conhecimento que se tem da constituição da rocha, deduz-se inequivocamente que eles estão integrados ao percentual de Óxido de Cálcio detectado no ensaio, que é de 85,6%

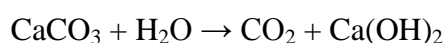
À exceção dos resultados apresentados na Tabela 4.14, que, pelos dados obtidos, trata-se de uma rocha com maior constituição de Carbonato de Sódio (NaCO_3) e constitui-se em uma rocha Sódica e não Cálcica, verifica-se nos demais resultados (Tabelas 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13) que foram encontrados o Carbonato de Cálcio (CaCO_3) no intervalo entre 40 a 89 por cento presentes na rocha calcária. Mesmo no caso de uma das amostras (Tabela 4.10) ter apresentado uma média de apenas 40% de Carbonato de Cálcio, pode-se afirmar que ela, no seu conjunto, é basicamente constituída de Carbonato de Cálcio. A discrepância de alguns resultados não prejudica essa conclusão. Decorre de que no resultado da análise, um dos pontos da Tabela 4.9 que localizou apenas 32,7% (Ponto 2) desta ligação e em outro encontrado apenas 13,99% (Ponto 4), observa uma presença muito alta de Óxido de Ferro, que pode estar concentrado em apenas algumas partes da rocha. Se o equipamento tivesse sido focado a alguns décimos de milímetros de distância daquele local, encontraria resultado totalmente diferente, possivelmente com percentual Carbonato de Cálcio compatível com os demais pontos. É exatamente para corrigir essas distorções que se adota a prática de análise de vários pontos da rocha. Quanto maior o número de pontos analisados menor o erro cometido na média da composição do material.

Como já visto, o Carbonato de Cálcio é o principal componente de rochas como os calcários, representando um sal com características básicas que aumenta o pH de uma solução aquosa, e é resultado da reação do óxido de cálcio (cal virgem) com dióxido de carbono.



Óxido de Cálcio + dióxido de Carbono -> Carbonato de Cálcio

Quando em solução aquosa sofre uma hidrólise e produz uma base forte.

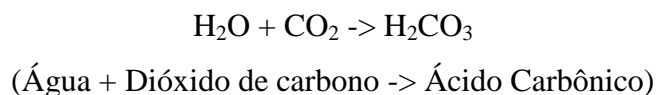


(Carbonato de Cálcio + Água -> Dióxido de Carbono + Hidróxido de Cálcio)

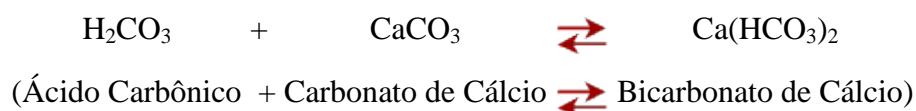
O Hidróxido de cálcio, também conhecido como cal hidratada, cal apagada ou ainda cal extinta, apresenta-se quando puro como um sólido branco e inodoro. Ele produz

uma camada fina sobre o maciço de calcário que limita, mas não impede totalmente, a infiltração da água de atingir novamente a camada de calcário.

Por outro lado, presença do CO₂ liberado da reação contamina a água que produz o Ácido Carbônico:

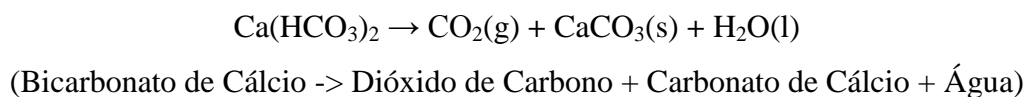


A água, contaminada com Ácido Carbônico, transforma-se em água ácida e consegue infiltrar na camada de Hidróxido de Cálcio, mesmo que lentamente, e atinge novamente o Carbonato de Cálcio do calcário, produzindo o bicarbonato de Cálcio.



O fato de o bicarbonato de cálcio (Ca(HCO₃)₂) ser mais solúvel do que o carbonato de cálcio (CaCO₃) é importante em geoquímica. Bicarbonato do cálcio, chamado também carbonato do hidrogênio do cálcio, não constitui um composto contínuo conhecido; “existe” somente em uma solução que contém o cálcio dos íons (Ca²⁺), dióxido de carbono dissolvido (CO₂), bicarbonato (HCO₃⁻) e carbonato (CO₃²⁻). As concentrações relativas destas espécies de carbono dependem do pH do meio aquoso.

As tentativas de preparar compostos como o bicarbonato do cálcio, evaporando sua solução árida, rende invariavelmente o carbonato contínuo, preferivelmente:



Muito poucos bicarbonatos contínuos, à exceção dos metais alcaloides, são percebidos fisicamente na natureza. O bicarbonato de cálcio se apresenta na natureza apenas em forma de íons de cálcio e perambulam pelas águas, transformando-as temporariamente em “águas duras” (VIEIRA, 2014).

A reação acima é muito importante para a formação de estalactites, estalagmites, colunas, outras espeleotemas (formações rochosas que ocorrem tipicamente no interior de

cavernas como resultado da sedimentação e cristalização de minerais dissolvidos na água) e, para essa matéria, na formação das próprias cavernas. Como a água que contém o dióxido de carbono (CO_2 adquirido dos organismos do solo) passa através da pedra calcária ou do outro carbonato de cálcio que contém minerais, dissolve a parte do carbonato de cálcio, tornando-se mais rico em bicarbonato. Quando a água subterrânea entra na caverna, o dióxido de carbono adicional é liberado da solução do bicarbonato, fazendo com que o carbonato de cálcio muito menos solúvel seja depositado.

Na realidade, sucintamente, o Bicarbonato de Cálcio produzido nesse processo é um metal sem constituição física definida (TORRES, 2014), pois representa apenas um conjunto de íons, fortemente energizados, que produz atração iônica de outros elementos presentes no meio aquoso, promovendo a total dissolução do que antes era carbonato de cálcio, o principal elemento dos calcários. Ou seja, o que era inicialmente um elemento sólido, o carbonato de cálcio, reagiu com a água e o dióxido de carbono, produzindo íons que foram gerar outros elementos ocasionando um vazio no local do carbonato. Ao longo do tempo, desse processo de dissolução, surgem as dolinas de proporções consideráveis.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Como era proposta deste trabalho foi feita a avaliação do calcário tanto como material extraído, industrializado ou não, para uso como agregado na construção civil e como material consolidado integrante do subsolo que serve de fornecedor de matéria prima para a Construção Civil e como suporte para fundações.

Em relação do uso de materiais calcários como agregado da construção civil, que constituiu principal objetivo deste trabalho, a seguir são feitas as considerações embasadas nos resultados das pesquisas efetuadas.

Os ensaios físicos, químicos e de campo desenvolvidos neste trabalho mostraram que a rocha calcária tem uma caracterização de massa específica compatível com as demais rochas, porém com alto índice de absorção de água, bem superior às demais rochas usadas na construção civil. Mostrou ainda que se trata de rocha de baixa resistência à abrasão e à compressão simples. Não foram constatados maiores problemas nas análises de fundações já realizadas com o material, mas os ensaios químicos mostraram a forte tendência da rocha, que é usada maciçamente em pequenas construções, à dissolução na presença de meio aquoso.

A par do que a literatura fala a respeito e dos resultados alcançados nos ensaios desenvolvidos, pode-se afirmar com segurança que, em comparação com as obras de fundações já consagradas, levando em conta os ensaios químicos efetuados, os ensaios de compressão, que o material extraído dá a certeza de que a rocha não é adequada para utilização em concretos, sobretudo aqueles em que as normas exigem tensões acima de 13,7 MPa (menor valor da resistência à compressão simples dos testemunhos ensaiados conforme Tabela 4.6a), como, por exemplo, as estruturas de concreto armado, cuja ABNT (1992) NBR 8953/92, exige traços superiores a 15 MPa (grupo I - C15). A conclusão é óbvia, devido à constatação de que o agregado graúdo não pode ter resistência inferior às exigências do elemento estrutural ou de fundação. Os ensaios de compressão simples realizados denunciam essa realidade de muito baixa resistência da rocha calcária, conforme classificação de Deere e Miller (1966), mostrado na Tabela 4.8.

Além do mais a sua capacidade de absorção de água é muito alta, mostrando que se trata de uma rocha com alta porosidade, cujo uso pode ser comprometido na condição saturada, tendo em vista as análises químicas acusar a sua facilidade de dissolução em presença de meio aquoso.

Todavia, é admissível o seu uso na forma de concreto ciclópico em fundações superficiais, como, aliás, é muito usual na região de João Pessoa, exclusivamente para

construções de pequeno porte, assim observadas aquelas de um único pavimento, por não demandarem tensões acima das admitidas pela rocha, e localizada em áreas sem nenhum risco de permanência de saturação ou com pouca probabilidade de alagamentos. Remenda-se, entretanto, que no processo construtivo adotado costumeiramente na região não seja negligenciada a adição de elemento aglomerante no agregado fino usado para preenchimento dos espaços vazios entre as rochas de granulação alta.

Por considerar importante um alerta sobre os riscos da grande presença do calcário na região estudada, e com o uso das informações obtidas através dos perfis litológicos dos poços tubulares desenvolvido por Araújo (2012), do Banco de Dados interpolados através das sondagens geotécnicas criados por Soares (2011), dos mapas e cartas elaboradas por Tuma (2004) e dos ensaios e levantamentos realizados constituem a base para obtenção de informações geológicas de subsuperfície na área em estudo e de avaliação do material objeto de estudo, decidiu-se emitir as considerações transpostas nas linhas que se segue.

O levantamento da área do substrato rochoso da região metropolitana de João Pessoa e adjacências, visando detectar as profundidades de tipos de camadas com a presença de rochas calcárias, detectou-se que toda a região é assentada sobre uma plataforma de rochas denominada Formação Gramame, constituída integralmente por calcários, cuja constituição básica é o Carbonato de Cálcio, sobreposta por materiais inconsolidados da Formação Barreiras, cujas profundidades variam entre 20 a 50 metros (largura aproximada da Formação Barreiras). Sendo que, em função do relevo determinado por processos erosivos da Formação Barreiras, essas rochas podem aflorar em determinadas partes da área, como bem caracterizados pelos mapas do substrato rochoso apresentados por Tuma (2004).

Os dados de sondagens geotécnicas levantadas por Soares (2011) são raros, pois a área do sítio inicial da cidade é totalmente edificada e parcialmente tombada, o que inviabiliza a liberação de áreas para novas construções, influenciando no baixo número de sondagens. Por outro lado, em grande parte, as empresas executoras das sondagens não disponibilizam essas informações. Deve-se destacar também que as sondagens, generalizadamente adotado o método SPT, trazem informações de estratos pouco profundos, pois objetivam obter informações das camadas que compõem o subsolo, nível do lençol e dos parâmetros de solos que interferem na segurança da execução de projetos. Em função desses aspectos, os dados obtidos através de sondagens que trazem informação sobre a profundidade da capa do calcário estão restritos a uma pequena área ao norte da estação rodoviária. Em decorrência dessa insuficiência de dados, setores importantes, a exemplo da região da Lagoa do Parque Sólon de Lucena e a área ao sul da Estação Rodoviária, ficaram carentes de informações relativas,

principalmente, ao posicionamento da base da camada do calcário, ficando submetidos apenas aos resultados alcançados pelos trabalhos de Araújo (2012) e Tuma (2004).

Foi constatado, contudo, que a Formação Gramame está muito bem definida em toda a área leste do Estado da Paraíba, exceto em parte do Município do Conde e todo o Município de Pitimbu, cujos calcários, nas mesmas condições e profundidades pertencem à Formação Maria Farinha e possuem como principal material de formação o Carbonato de Magnésio, com muito menos impacto de dissolução quando em contato permanente com a água. Constata-se ainda que elas, as Formações Gramame e Maria Farinha, estão sobreposta a cristalinus naturais de rochas de origem magmáticas ou metamórficas, denominado de Formação Beberibe, cuja profundidade é maior no leste, diminuído gradativamente para o oeste. As formações Maria Farinha, Gramame e Barreiras, por sobrepor esse o cristalino, acompanha a inclinação na mesma direção. Elas vão reduzindo de tamanho e profundidade até um distância em torno de 20 km a oeste do litoral, até desaparecerem por completo.

Pelo Banco de Dados criado por Soares (2011), através de interpolações dos resultados de sondagens, e dos levantamentos de Araújo (2012), feitos por perfurações de poços, constata-se que o calcário da Formação Gramame não representa uma regularidade de contato com a Formação Barreiras de forma plana e retilínea. As irregularidades de altitudes da sua linha superior são reais e lógicas, o que leva à conclusão que os mapas consultivos elaborados pelos citados autores não são instrumentos que garantam a formação de decisão a respeito da presença dos calcários no local das construções. Tal informação tem necessariamente de ser obtida pelos serviços de sondagem, quando da investigação geotécnica para implantação do empreendimento.

Os levantamentos indicaram que a formação Gramame está sotoposta a aquíferos de volumes consideráveis, servindo de barreira impermeabilizante para conter a infiltração do conteúdo desses aquíferos. Isto provoca uma grande elevação nos níveis freáticos de toda a região, que, como constatado, flutua a profundidades de 0 a 20 m, dependendo do relevo da superfície constituída por materiais da Formação Barreiras. A separação das águas dos reservatórios naturais com o calcário se resume em uma camada fina de material de granulação fina originário do processo de dissolução da rocha calcária, como estudado na análise dos ensaios químicos realizados. Sabendo que esses aquíferos são originários das infiltrações ocorridas na camada da Formação Barreira, pode-se supor que esta água já chega aos aquíferos com um percentual grande de Ácido Carbônico (H_2CO_3), advindos da captação de CO_2 da atmosfera pelas chuvas que provocaram a infiltração e alimenta os aquíferos. Somada essa contaminação com o CO_2 liberado da reação da água com o contato com o

Carbonato de Cálcio existente na formação do calcário, pode-se afirmar que está construído o ambiente perfeito para a geração do Bicarbonato de Cálcio. Em seu lugar começam a gerar vazios que ao longo do tempo e formar dolinas. Assim, a Formação Gramame poderá ser ~~será~~ reduzida com o tempo dando lugar a afundamentos da camada sobreposta.

Pela ausência de tempo suficiente, pela inexistência de equipamento disponível e as dificuldades na sua construção, não foi possível fazer um ensaio que medisse a cinética desse processo, baseado na liberação do carbono, visando saber o tempo de ocorrência das dissoluções por volume de calcário em relação ao volume de água, e, além disso, não existir um estudo que comprove o início do processo em andamento, e, conseqüentemente, qual é o volume de dolinas já existentes, mas, pelos estudos efetuados neste trabalho e pelos resultados dos ensaios que mostram uma clara redução no volume do material ensaiado, constata-se a existência do fenômeno de dissolução da rocha calcária e que ele não pode ser desprezado.

É sabido também que esse processo de dolinamento ocorre muito lentamente e principia-se por pequenos vazios que ao longo do tempo vão se ampliando, comunicando-se entre si. Até que se complete, pode levar milhares de anos. Mas essas pequenas dolinas já comprometem os sobrepesos que se arvoram sobre os solos que estão sustentados por tensões geostáticas das camadas existentes sobre elas. Essas forças geostáticas que comprimem os solos inconsolidados, provisoriamente são suficientes para conter o peso próprio do material inconsolidado existente sobre as dolinas, impedindo que ele desabe nos vazios criados, pelo menos enquanto elas ainda não possuam tamanho que desestabilize as camadas sobrepostas. Todavia, sobrecargas originárias das construções colocadas nestes locais desequilibram essas tensões e culminam com tensões extras de sobrepeso, decorrendo a possibilidade de afundamento de toda a massa de solos que se sustentam sobre as dolinas. Por hora não existe registros onde haja algum afundamento ocorrido pela simples ação do peso próprio de materiais inconsolidados existente sobre essas dolinas. Os muitos casos registrados têm como causas as ações antrópicas e erosões, ocasionadas por cinética de percolação de águas ou decorrentes de alterações de tensões hidrostáticas e geostáticas.

Se partirmos do princípio que os bulbos de tensões de forças externas incidentes verticalmente sobre o solo podem atingir profundidades infinitas, de acordo com a solução de Carothres, mostrada por Cavalcante (2006), podemos afirmar que os empreendimentos construídos sobre maciços rochosos de calcários estarão seguros se os elementos de fundação foram calculados exclusivamente com base na resistência de fuste.

Em face disso recomenda-se que qualquer construção dentro da faixa leste da Paraíba ao norte da linha de embocadura do Rio Gramame, considerada a área de incidência

da Formação Gramame, seja precedida de investigação que vão além da verificação estratigráfica dos tipos de camadas de solo, mas, que visem averiguação da profundidade da camada de rocha calcária e se já existe processos de dolinamento em formação na localidade, sendo desaconselhada a construção caso ela esteja muito próxima da profundidade dos elementos de fundação.

É mister recomendar a futuros pesquisadores que queiram se aprofundar no assunto que observem as seguintes necessidades de ensaios:

- a) verificação da cinética das reações ocorridas com o calcário diante da presença da água. Trata-se de procedimento simples, dependendo apenas de construção de equipamento apropriado, que medirá a liberação do dióxido de carbono em intervalos de tempos pré-programados. Tal ensaio demanda muito cuidado, paciência e longo tempo de experiência, mas é de fundamental importância para avaliar o tempo em que as rochas estão sujeitas ao fenômeno de subsidência;
- b) ensaios de compressão simples nas mesmas bases e conceitos efetuados neste trabalho, porém com um número muito superior de corpos de provas por ensaio. Ao invés de apenas 4, sugere-se um número mínimo de 10, com exclusão daqueles que apresentarem muita divergência nos resultados. Ou seja: podem ser excluídos os valores dos 2 que apresentarem maiores resistências e 2 corpos que apresentarem menores resistências, apurando o resultado dos 6 corpos intermediários. Proporcionando uma média de resultados que levem de fato a obter uma tendência comportamental em decorrência da saturação e dessaturação dos respectivos corpos de prova. Para que os resultados sejam ainda mais consistentes recomenda-se um tempo muitíssimo superior aos exíguos 270 dias adotados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AKPOKODJE, E.G. **The importance of engineering geological mapping in the development of the Niger Delta Basin.** Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Nº. 19. Krefeld (Germany). Sep. 1979. p. 101-108.
- AL-HARTHI, A. A. **A field index to determine the strength characteristics of crushed aggregate.** Bull. Eng. Geol. Env., 60: 193- 200. 2001.
- ALBRECHT, K. J. **Avaliação dos Problemas Geológico-Geotécnicos em Terrenos Cársticos - Base para o Mapeamento Geotécnico.** São Paulo, 1996. Dissertação de Pós-Graduação em Geologia - USP.
- ALMEIDA, J. A. C. **Calcários recifais eocênicos da formação Maria Farinha, na sub-bacia Alhandra, Paraíba:** aspectos taxionômicos, paleoecológicos, paleoambientais e estratigráficos. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geociências. Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Recife: [s.n.], 2000. 143 p.
- ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações.** Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1983.
- ALTOÉ, W. B., **Correlação entre ensaios de índices físicos e desgastes amsler em cinco rochas ornamentais comercializadas no Estado do Espírito Santo,** XVI jornada de Iniciação Científica, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, Rio de Janeiro, 2013.
- ALVES, J. D., PINHEIRO, D. G. L., CARDOSO, F. A. M., SANTOS, T. M., **Construção de Habitações com Borracha de Pneu reciclada segundo processo de José Neto de Medeiros,** Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GOIÁS (2006).
- ALVES, J. D. **Materiais Alternativos de Construção.** Goiânia: Ed. Da UCG. 2006. 103 p.: il.
- ARAI, M. **A Grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras.** Geologia USP. Série Científica, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.
- ARAUJO, M. E., **Água e Rocha na Definição do Sítio de Nossa Senhora das Neves, Atual Cidade de João Pessoa – Paraíba,** Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2012.
- ASSIS, A.D., **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba. Geologia.** In: EGLER, C.A.G. *et al.* (Coord.). João Pessoa: Grafset., 1985. p. 22-23.
- ASSIS, A. P., **Mecânica das Rochas,** Apostila do Curso Básico, Publicação: G.AP-AA001/13. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Dept. Engenharia Civil & Ambiental, Geotecnia. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA – ABGE (1990) **Manual de sondagens.** 3ª. ed. São Paulo, ABGE. 73 p. (Boletim n.3).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 6465/84. Determinação de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 10905/89. Solo - Ensaio de Palheta *in situ*, Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 8953/92. Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência, Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 6122/96. Projeto de Execução de Fundações, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR NM 53/03. Agregado Graúdo – Determinação de Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR NM 7680/07. Concreto – Extração, preparo e ensaios de testemunhos de concreto, Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR NM 26/09. Agregados - Amostragem, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR 7211/09. Agregados para Concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

BARBOSA, D. C., **Relatório do ensaio N° 01 – Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água do Agregado Graúdo**, Relatório de experiência apresentado à disciplina de Materiais para Construção Civil, Universidade de Mogi das Cruzes, Mogi das Cruzes (SP), 2008.

BARBOSA, J. A. **Evolução da bacia Paraíba durante o maastrichtiano-paleoceno: Formação Gramame e Marinha Farinha**, NE do Brasil. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geociências. Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Recife. 2004. 219 p.

BARBOSA, J. A. **Deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: Aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos**. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geociências. Centro de Tecnologia e Geociências da UFPE. Recife. 2007. 331 p.

BARISON, M. R., **Uso de rochas em fundações de pequenas centrais hidrelétricas**, Artigos Técnicos CERPCH, 1997.

BESSA, I. S. BRANCO, V. T. F. C., SOARES, J. B., **Avaliação da Resistência ao Polimento e à Degradação de Agregados Utilizando a Abrasão Los Angeles e o Processamento Digital de Imagens**, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza (CE), Artigo para a revista CBRC & BRASVIAS, 2011.

BEURLLEN, K. **Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. Recife: v.16, n.1, p. 43-54, 1967a. 234

BEURLLEN, K. **Paleontologia da faixa costeira Recife- João Pessoa**. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. Recife. v. 16, n. 1, p. 71-77, 1967b.

BIGARELLA, J. J.; Becker, R. D.; Santos, G. F. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais: fundamentos geológicos-geográficos, alteração química e física das rochas e relevo cárstico e dômico**. Florianópolis, Editora da UFSC, 425p, 1994.

BORGES, U. N., **Mapeamento das Áreas de Conflito com a Legislação e de Riscos Decorrentes da Instalação de Postos de Combustíveis na Cidade de João Pessoa – PB Utilizando Sistema de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto. Monografia de Graduação**. UFPB, CCEN, Departamento de Geociências- Curso de Geografia. João Pessoa. 145p. (2004)

BRADY, J.E. and HOLUM, J.R. **Chemistry: The study of matter and its changes**, John Wiley, 1993.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra**. Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal:. Rio de Janeiro, 1981. 744p. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRANSPORTES. **Agregados, determinação da abrasão “Los Angeles”**, DNER ME-035/98, Brasília(DF), 1998.

BRITO NEVES, B. B. (Org.). **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004.

BRITO NEVES, B. B.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; COUTINHO, J. M. V.; BEZERRA, F. H. R., **Novos Dados Geológicos e Geofísicos para a Caracterização Geométrica e Estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba)**. Revista do Instituto de Geociências – USP, Série Científica, São Paulo, v. 9, n. 2, p.63-87, 2009.

BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E.; BURSTEN, B. E., **Química: A ciência Central**, Capítulo 11, Forças Intermoleculares, Líquidos e Sólidos, Editora Pearson, 9ª Edição, Ribeirão Preto, São Paulo, 2010.

CARVALHO, E.T. de. **Geologia urbana para todos: uma visão de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1999. 176p.

CASA RECICLA FLORES, **Casa de Saco de Areia**, Permacultura e Bioconstrução, Flores de Lotous, São Paulo, 2009. Disponível em <<https://reciclaflores.wordpress.com/tag/casa-de-saco-de-areia>>, acesso em 12 dez. 2014.

CAVALCANTE, E. H., **Solução de Carothres**, Mecânica dos Solos II, Notas de Aula, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas, UFSE, Aracajú, Sergipe, 2006.

COUTINHO, M. G. N., **Geologia dos Municípios de João Pessoa, Cabedelo e Gramame – PB**. Relatório de Graduação da Escola de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco. Recife/PE. 1967.

CUNHA, R. P., Interpretation of Selfboring Pressurimeter Tests in Sand. Ph.D.Thesis, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Canada, 279 p. . 1994.

DANTAS, T. N. C., DANTAS NETO A. A., ROSSI C. G. F. T., VIANA F. F., SANTOS G. C. M. N., **Remoção de Óleo Pesado adsorvidos em Rocha Calcária Utilizando Sistema Microemulsionado**, 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, Natal (RN), 2011.

DANTAS, J. R. A., **Mapa Geológico do Estado de Pernambuco – Texto Explicativo**. Brasília DNPM. 112p. 2 mapas, 1980.

DANTAS, J. R. A., Caúla J. A., BRITO NEVES, B. B., PEDROSA, I. L., **Mapa Geológico do Estado da Paraíba**, escala J/500.000, Campina Grande-PB, SERM/Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais (CDRM), 133 p. 1982

DEDAVID, B. A., **Microscopia eletrônica de varredura : aplicações e preparação de amostras : materiais poliméricos, metálicos e semicondutores [recurso eletrônico]**, Centro de Microscopia Eletrônica e Microanálises (CEMM) do IDEIA, PUCRS – Porto Alegre : EDIPUCRS, 2007.

DEERE, D. U. and MILLER, R. P., **Engineering classification and index properties of rock**. Technical Report No. AFNL-TR-65.116. Albuquerque, NM: Air Force Weapons Laboratory. (1966).

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE INFRAESTRUTURA - DEINFRA, **Instrução Normativa para execução de Sondagem rotativa**, IN 07/94, Diretoria de Engenharia, Gerência de Projetos Rodoviários, Governo de Estado de Santa Catarina, 1994.

ENGENHARIA CIVIL, **Agregados e Materiais de Enchimento – Ensaio de Caracterização**, Trabalho de Pesquisa Acadêmica apresentado à disciplina “Drenagem e Pavimentação” do curso de Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém (PA), 2010.

FARIAS, A., PINTO, M. D., **Acção das Águas Acidificadas sobre o Calcário, Um Contributo para o Desenvolvimento do Trabalho Laboratorial**, Centro de Formação de Almada Ocidental – PROFORMAR, Escola Secundária do Monte de Caparica, Lisboa, Portugal, 2005.

FOG PRODUCTIONS, **Petrografia Sedimentar Prática 3. Rochas Calcárias**, Sedimentologia GS.252, Guia Ilustrado de Descrição, Limbach-Oberfrohna, Alemanha, 2004.

FORSSMANN, W., **Nobel Lectures, Physiology or Medicine**, 1942-1962, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1956.

FURRIER, M., **Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha João Pessoa – 1: 100.000**. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 213p, 2007.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. F., **Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba**. Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP Sér. Cient., São Paulo, v. 6, n. 2, p. 61-70, 2006.

FURRIER, M e VITAL, S. R. O., **A Formação de Dolinas em Áreas Urbanas: o Caso do Bairro de Cruz das Armas em João Pessoa-PB**, Revista Brasileira de Geografia Física, Recife(PE), 2011.

GABARDO, M., **Acidez do solo e Calagem**, Trabalho de Geologia, Unversidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa (PR), 2011.

GIACHETI, H. L, QUEIROZ, R. C., **O ensaio de Piezocone e de Minicone na Investigação do Subsolo: Alguns Exemplos de Aplicação**, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, UNESP/Campus de Bauru, Bauru, SP, 2004, **Geociências**, v. 23, n. 1/2, p. 89-103

GILBERT, J., DANIELPOL, D. L. e STANFORD, J. A... **Groundwater Ecology**. Academic Press New York, 571 pp. 1994

GILLULY, J.; A.C. WATERS; A.O. WOODFORD, **Principles of Geology**. W.H. Freeman, San Francisco. 687 p, 1968.

GOODMAN, R. E.. **Introduction to Rock Mechanics**. 2nd ed New York: John Wiley and Sons, 1989.

GOPINATH, T. R.; COSTA, C. R.S; JUNIOR, M. A. S., **Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba**. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 15. Natal 1993. Anais. Natal. Sociedade Brasileira de Geologia /Núcleo Nordeste, pp.47-48, 1993.

HACHICH, W et al. **Fundações: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pini. 1998.

IAEG - INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. **Engineering Geological Maps: a guide to the preparation**. Paris: UNESCO, 1976. 76p.

INFANTI JR., N., FORNASARI FILHO, N., **Processos de Dinâmica Superficial**. In: Geologia de Engenharia. Santos, A, M dos, Oliveira, S. N A. de B. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

JABOATAM, A. de S. M. **Novo orbe serafico brasilico ou chronica dos frades menores da província do Brasil** (c. 1761). v. I (1859), v. II (1861), v. III (1862). Disponível em: <<http://www2.senado.gov.br/bdsf/item/id/182923>>. Acesso em: 30. Mar. 2012, 11:40:01. (000059999_01.pdf).

KAHN, H, **Difração de Raio X**, PMI 2201, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Minas de Petróleo, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), 2003.

KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 309 - 334.

LEAL, J., SÁ, L. T. **Levantamento geológico-geomorfológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, no trecho compreendido entre Recife-PE e João Pessoa-PB**. 1127f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

LIMA, M. A. B. **Estudo do comportamento dos Gnaisses Casablanca Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil) em atmosfera salina**, Tese de Doutorado elaborada junto ao Curso de Pós-Graduação em Geociências – Área de Concentração em Geologia Regional para obtenção do Título de Doutor em Geologia Regional. Instituto de Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro(SP), 2006.

LIPORACI, S.R.; CALIJURI, M.L.; ZUQUETTE, L.V. **Mapeamento geotécnico e elaboração da carta de riscos geológicos como subsídios na prevenção de acidentes naturais em zonas urbanas**. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8, Rio de Janeiro. 1996. Anais. ABGE. v. 2. p. 591-599. 1996.

LOZIŃSKA-STEPIEŃ, H. **Engineering geological maps at a scale 1:25.000 for regional planning purposes**. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, N°. 19. Krefeld (Germany). Sep. 1979. p. 69-72.

LUMMERTZ, F. B. **Aspectos da hidráulica subterrânea na área da Grande João Pessoa**. Dissertação (Mestrado) UFPE/Escola de Geologia, Recife, 1977.

LUNNE, T.; ROBERTSON, P.K.; POWELL, J.J.M. **Cone penetration testing in geotechnical practice**. London (England), Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall., 1st ed., 1997, 312 p.

MABESOONE J. M. Sedimentologia da faixa costeira Recife – João Pessoa. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 16, n.1, p. 57–72, 1967.

MABESOONE, J. M. e CASTRO, C. Desenvolvimento geomorfológico do nordeste Brasileiro. **Boletim do Núcleo Nordeste da SBG**, Recife, v.3, p. 0535. 1975

MABESOONE, J.M.; ALHEIROS, M.M. **Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba**. Revista Brasileira de Geociências, 18(4): 476-482, 1988.

MABESOONE, J. M. **Sedimentary basins of northeast Brazil**. Recife UFPE/CT/DG, 310p. (Publicação Especial) .1994.

MACIEL, S. M. S. do R., **Contribuição ao estudo das fácies carbonáticas interdigitadas na Formação Beberibe**. Universidade Federal de Pernambuco, Pós-Graduação em Geociências, Dissertação de Mestrado, 85 p., 1980.

MACIEL FILHO, C.L. **Histórico da geologia de engenharia e da cartografia geotécnica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3, Florianópolis. 1998. ABGE. 1998. CD-ROM.

MAYNE, P. W. **Enhanced Geotechnical Site Characterization by Seismic Piezocone Penetration Tests**. Invited Lecture, hi: Fourth International Geotechnical Conference. 4., 2000. Cairo University. Proceedings... Fourth International Geotechnical Conference p. 95-120. 2000.

MARANGON, M., **Resistência ao Cisalhamento dos Solos**, Unidade 5, Mecânica dos Solos II, Núcleo de Geotecnia, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, 1997.

MARINHO, F. A. M., **Investigação Geotécnica Para Quê?** Conferência Brasileira de Encostas COBRAE Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, - 2005 – Vol 2

MARTINS, V. P. (2006). **Análise Ambiental e Legal Do Processo De Ocupação E Estruturação Urbana Da Cidade De João Pessoa / PB, Numa Visão Sistêmica**. Dissertação (Mestrado). Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2006. 146p.

MATEUS, A., **Equilíbrio do carbonato de cálcio**, Projeto Ponto Ciência, Universidade Federal de Minas Geral - UFMG, Experimento Cadastrado, 2011.

MÉLO, M., **Geologia e Geomorfologia**, Ficha Geomorfológica, Geografia Física, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE, Garanhuns, 2014.

MELO, A, S, T., ALVES, E. L., **Os Aglomerados Subnormais dos vales do Jaguaribe e do Timbó: Análise geo-ambiental e qualidade do meio ambiente**. Projeto de Pesquisa: Vale do Jaguaribe. Centro Universitário de João Pessoa – UNIPÊ. 132 p. (2001).

MENESES, L. F. de. **Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos livres no município de Joao Pessoa-PB através do modelo DRASTIC**. Dissertação de Mestrado. UFPB, Joao Pessoa, 2007. 81 p.

MOTA, N. M. B., **Ensaio avançados de campo na argila porosa não saturada de Brasília: Interpretação e Aplicação em projetos de fundação**, tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2003.

MOURA, P. G. T., **Reabilitação com argamassa projetada em construções históricas de pedra no litoral paraibano**, tese submetida ao Programa de Pós- Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Doutorado Interinstitucional - DINTER promovido pelas Universidades Federal da Bahia-UFBA e Universidade Federal da Paraíba-UFPB, como requisito para obtenção do título de Doutor, 2013.

NAKAZAWA, V.A.; PRANDINI, F.L.; DINIZ, N.C. **Subsidências e colapsos do solo em áreas urbanas**. In: CURSO de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente / AGAMADIGEO. São Paulo: IPT, 1995.

NASCIMENTO, V. L. M. C, **Cartografia das Áreas Favoráveis à Ocupação Urbana no Município de João Pessoa/PB, Utilizando Sistema de Informações geográficas**, Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção do grau de Mestre, UFPB, João Pessoa, Paraíba, 2008.

NETO, A. D. F., **Uma Breve História das Fundações**. História das Fundações. Fundações, Teoria e Prática, 2ª Edição, Editora Pini, São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, F. B., **Degradação do meio Físico e Implicações Ambientais na Bacia do rio Jaguaribe, João Pessoa, Paraíba**, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Pós-Graduação em Geociências, Recife, Pernambuco, 2001.

OLIVEIRA, I., **Apostila Maco I Agregados**, Materiais de Construção Civil I, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2012.

OLIVEIRA, L. M. **A Gestão de Riscos Geológicos Urbanos em Áreas de Carste**. Curitiba.. Monografia de Especialista em Gestão Técnica do Meio Urbano (PUC-PR). 1997.

OLIVEIRA, L. M., **Acidentes Geológicos Urbanos**. MINEROPAR – Serviço Geológico do Paraná, Curitiba, 2010.

OLIVEIRA, M. A. F.; MELO, R. P.; NARDY, A. J. R.; e ARAB, P. B.; **Caracterização Geotermobarométrica dos metabasitos de Cajamar (SP), Grupo São Roque, Cinturão Ribeira**, Revista Brasileira de Geociências, volume 41, 2011.

PARAÍBA TOTAL, **Estado produz 592,1 mil toneladas de cimento no 1º trimestre de 2012**, João Pessoa, Ago. 2012. Disponível em <<http://www.paraibatotal.com.br/noticias/2012/08/14/30266-estado-produz-5921-mil-toneladas-de-cimento-no-1-trimestre-de-2012>>, Acesso em 14 dez. 2014.

PENIDO, H. A., **Modelagem computacional de túneis: o caso dos túneis da Mina de Fábrica Nova**, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro preto (MG), 2006.

PINHO, A. B., **Caracterização Geotécnica de maciços rochosos de baixa resistência**, Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Geologia, Universidade de Évora, Évora, 2003.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. **Material Didático: arquivos de transparências (CD)**. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

RAMOS, J. E. F., **A instalação da nova fábrica significa a transição de uma economia voltada para agricultura em um modelo industrial**, Paraíba Total, João Pessoa (PB), ago. 2013. Disponível em <<http://www.paraibatotal.com.br/entrevistas/2013/08/19/74457-a-instalacao-da-nova-fabrica-significa-a-transicao-de-uma-economia-voltada-exclusivamente-para-agricultura-em-um-modelo-industrial-na-regiao>> Acesso em 16 dez. 2014.

ROCHA, B. P., **Emprego do ensaio SPT sísmico na investigação de solos tropicais**, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geotecnica, USP, São Carlos(SP), 2013.

ROCHASUL MÁRMORES E GRANITOS Malini e Bolognini Ltda – ME, **Catálogo de Mármore e Granitos**, Alto de São Jose, Atílio Viváqua, Espírito Santo, disponível em http://www.rochasul.com.br/modules/mastop_publish/?tac=M%Elrmores_e_Granitos, acessado em 12/01/2015.

SAADI, A.; COSTA, N.B.O.R.; CAMPOS, J.C.F. **Morfologia aplicada ao controle ambiental da expansão urbana do Vale do Aço**. In: Simpósio da Situação Ambiental e Qualidade de vida na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Minas Gerais, 2, Belo Horizonte, 1992. **Atas**. ABGE. 1992. p. 149-152.

SANDRINI, I e CARANASSIOS, A. **Caracterização tecnológica de uma Rocha Biotita Gnaisse Monzogranítico com Granada**, I Jornada do Programa de Capacitação Interna, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, Rio de Janeiro, 2007.

SANTOS, A. C. O. **Tecnologia das construções**. Aula 4, Universidade da Amazônia

SANTOS, A. R , **Terrenos Calcários: Áreas de risco geológico para a Engenharia e para o Meio Ambiente**, Artigo AgSolve, Indaiatuba, São Paulo, 2008.

SANTOS, A. R , **Geologia de Engenharia: Conceitos, Método e Prática**, Caso de Aplicação n° 07, Editora O Nome da Rosa, São Paulo, 2009.

SANTOS, A.R.. **“Novo modelo geológico orienta a escolha de terrenos e o tratamento de fundações para empreendimentos na região de Cajamar (SP)”**. Artigo técnico publicado no portal PINI Web. 2011

SANTOS, E.J. dos, FERREIRA, C.A.; SILVA JR., J.M.F. da. **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba**. Recife: CPRM. 142p. 2 mapas. Escala 1:500.000 (Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Subprograma Mapas Estaduais). 2002

SANTOS, S. A., SILVA, L. Y. A., **Modelagem da Vulnerabilidade e Perigo de Contaminação das Águas Subterrâneas da Sub-Bacia dos Rios da Prata e Buritis, Estado de Goiás**, XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositiva, Gramado (RS), 2014.

SCHMIDT, W. **Avaliação do impacto ambiental da extração mineral na região metropolitana de João Pessoa, Paraíba**. João Pessoa: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT-GTZ, Mai. 1994. 56p. (Relatório Consultoria de Curto Prazo/PN: 87.2080.7-03.124).

SCHNAID, F., **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**, Oficina de Textos, São Paulo, 2000.

SCHNAID, F.; CONSOLI, N.C.; e MÁNTARAS, F.M., **O Uso do Ensaio Pressiométrico na determinação de Parâmetros de Solos Não Saturados**. Solos e Rochas, ABMS/ABGE, 18(3): 129-137. 1995;

SERRA JUNIOR, E., OJIMA, L. M. **Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos**. In: Oliveira, A M.S. e Brito,S.N.A. (ed.), Geologia de Engenharia. CNPQ/FAPESP, 1998, cap. 13, p. 211-226.

SILVA, N. G., **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**, Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Construção Civil – PPGCC/UFPR, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2006.

SNIC – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO, **Relatório Anual 2013**, Rio de Janeiro, 2013.

SOARES, W. C., **Banco de dados Geológicos-Geotécnicos com base em sondagens á percussão e uso de SIG: análise espacial da profundidade do lençol freático e do N_{SPT} para obras de Fundação em João Pessoa –PB**, tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – São Paulo, 2011.

SOUSA, J. F., VIDAL, F. W. H., **Rochas Carbonáticas**, Contribuição Técnica elaborada para o Livro Rochas e Minerais Industriais do Ceará, Coordenação de Apoio Tecnológico a Micro e Pequena Empresa – CATE, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Ministério da Ciência e tecnologia, Rio de Janeiro (RJ), 2005.

SUDEMA - SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Programa de Gerenciamento Costeiro, Estado da Paraíba: macrozoneamento costeiro, litoral sul**. João Pessoa: SUDEMA, 1996 (Gerenciamento Costeiro).

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE-SUDENE. Ministério da Integração Nacional. **Mapa Topográfico de Cabedelo**. s.l., 1974a. Escala 1:100.000. 1 mapa.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE-SUDENE. Ministério da Integração Nacional. **Mapa Topográfico de João Pessoa**. s.l., 1974b. Escala 1:100.000. 1 mapa.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. **Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho de alguns eventos geológicos mundiais**. Revista Geociências, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 461-479, 1999.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M. de; FAIRCHILD, T.R. e TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001, 568p.

TEIXEIRA, A. H, GODOY, N. S. **Fundações, Teoria e Prática**, 2º Edição, ABMS/ABEF, Editora Pini, São Paulo, cap. 7, p. 227, 1998.

TORRES, S. M, **Ensaio de Microscopia Eletrônica por Varredura**, Ph.D. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia de Materiais PCEM / PGEM / LTNM-IDEP, entrevista pessoa concedida em 18/12/2014. João Pessoa, Paraíba. 2014.

TSIAMBAOS, G.; TSCHIPTSCHIN, A. P.; SABATAKAKIS, N.; KOUKIS, G. **Engineering geological environment and urban planning of the city of Patras, Greece**. In: MARINOS,

P. *et al.* (eds.), **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENTAL**, Athens, Greece, 1997. Proceedings. Rotterdam, Balkema, 1997. p. 1527-1534.

TUMA, L. S. R., **Mapeamento Geotécnico da Grande João Pessoa**, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2004.

TUMAY, M.T., DE LIMA, D.C., **Calibration and implementation of miniature electronic cone penetrometer and development, fabrication and verification of the LSU in situ testing calibration chamber**. Washington: Louisiana State University Calibration Chamber – LSU CALCHAS/Louisiana Transportation (LTRC) / Federal Highway Administration (FHWA), Report, n. GE-92/08, 1992, 240 p.

TUMAY, M.T., KURUP, P.U., **Calibration and implementation of miniature electronic cone penetrometer for road and highway design and construction**. Washington: Federal Highway Administration/Louisiana Transportation Research Center, Louisiana State University/Federal Highway Administration (FHWA), Report, n. LA 97/305, 1997, 91 p.

TUMAY, M.T. & KURUP, P.U. **A continuous intrusion miniature cone penetration test system for transportation applications**. Washington, Federal Highway Administration (FHWA), Louisiana Transportation Research, Report, 1999, n. LA 88/311, 60 p.

VELLOSO, D. A., LOPES, F. R., **Fundações**, Oficina de Textos, São Paulo, 2009.

VELLOSO, D. A., LOPES, F. R., **Fundações, Critérios de Projetos, Investigações do Subsolo, Fundações Superficiais**, Setor de Reprografia da COPPE, Rio de Janeiro, 1996.

VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N.; BARRETO, C. G. W.; CARVALHO, E. A.; PEITER, C. C., **Substituição de areia de quartzo por finos de gnaise em massa cerâmica para telhas: teste industrial**, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2008.

VIEIRA, F. T., **Aulas Práticas de Química Inorgânica I**, Laboratório de Química Inorgânica I, Instituto de Ciência e Tecnologia, Diamantina (MG), 2014.

VILAS BOAS, G. S. **Sedimentos terciários e quaternários do interior**. In: TEXTO explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia. Salvador: Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996.

VILAS BOAS, G. S.; SAMPAIO, F. J.; PEREIRA, A. M. S. **The Barreiras Group in the northeastern coast of the State of Bahia, Brasil: depositional mechanisms and processes**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 73, n. 3, p. 417-427, 2001.

WANDERLEY, A.A.; SIQUEIRA, L.P. de; CALDASSO, A.L. da S. **Projeto mapas metalogenéticos e de previsão dos recursos minerais**. Folha SB.25-Y-C João Pessoa. Escala 1:250.000. v. 1. Texto e Mapas. Convênio DNPM-CPRM. Recife. 1983. 32p.

ZANELLA, A. F.; MARTINS, L. C.; SILVA, H. V, **Avaliação de Sondagens geotécnicas tipo DMT**, VII Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica, UNICESUMAR, Maringá, Paraná. 2014.

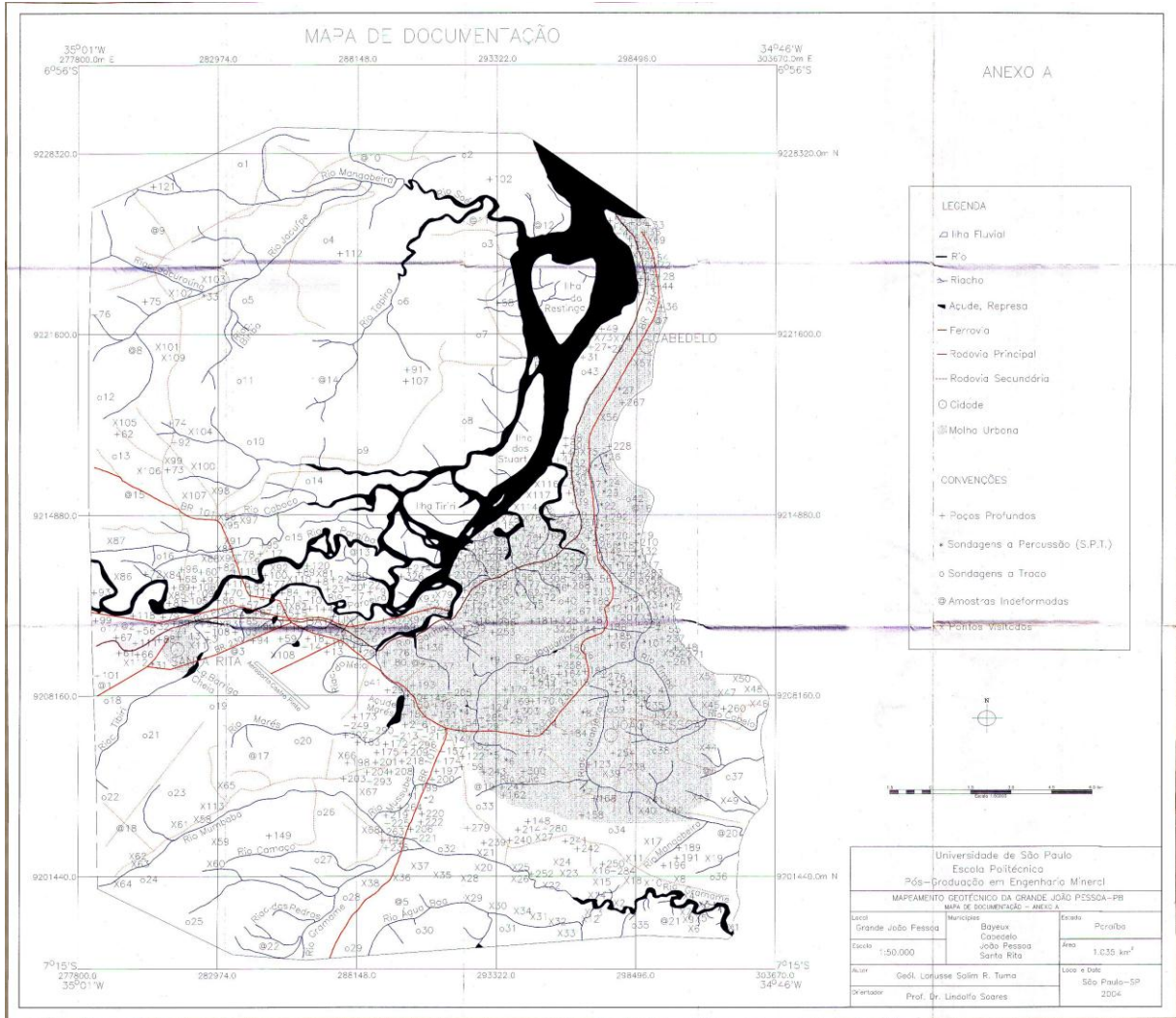
ZUQUETTE, L. V., **Importância do Mapeamento Geotécnico no Uso e Ocupação do Meio Físico: Fundamentos e guia para elaboração.** Tese de Livre Docência. EESC/USP, São Carlos (SP). 368 p. 1993.

ZUQUETTE, L. V., GANDOLFI, N., **Geotechnical Mapping: a Basic Document to Urban Planning.** Congress of the I.A.E.G. 6th, Amsterdam, Holanda. 1990.

ZUQUETTE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. **Cartas de Geologia de Engenharia.** In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE. 1998. p. 283-300.

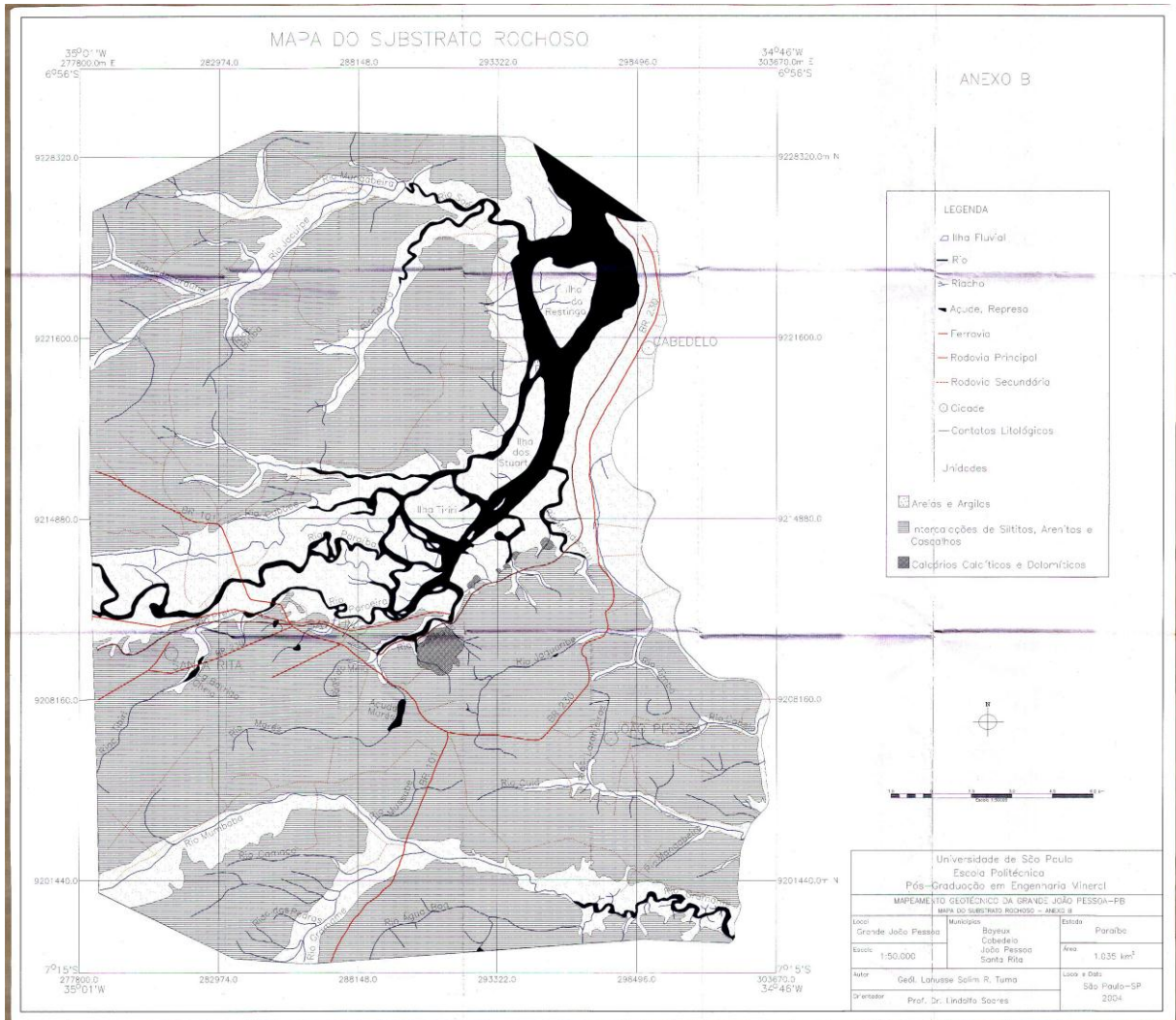
ANEXO A

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO



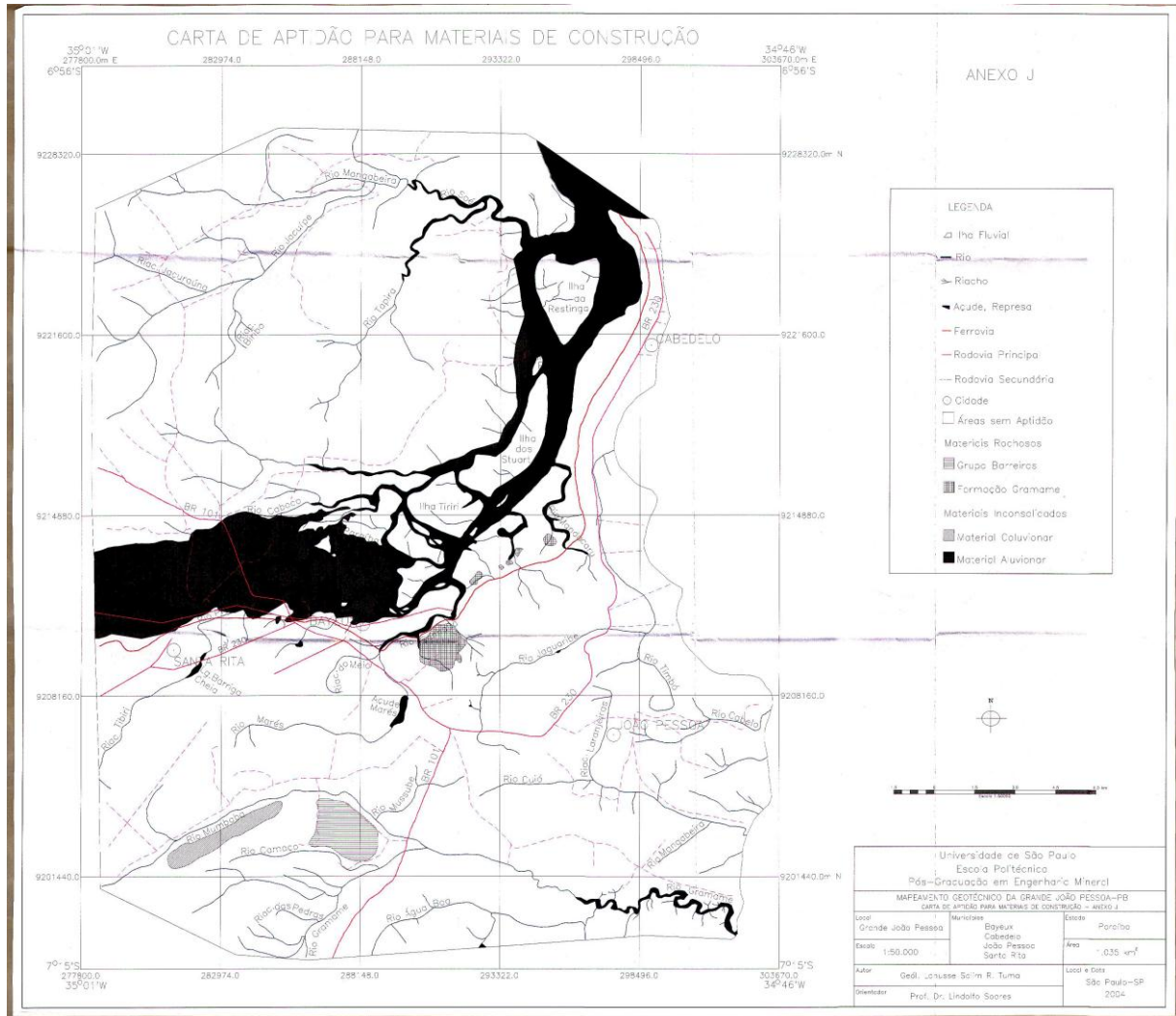
ANEXO B

MAPA DE SUBSTRATO ROCHOSO



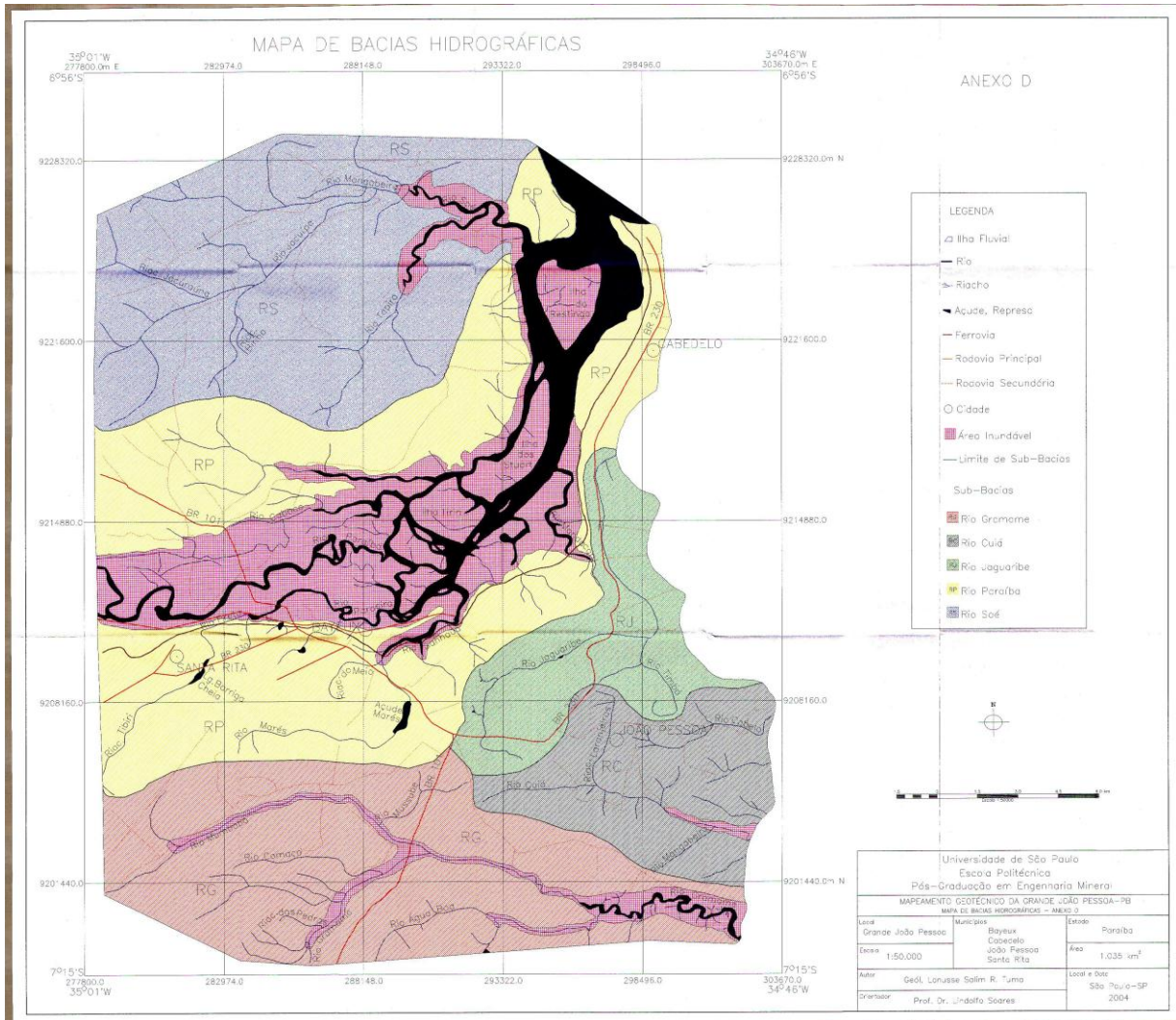
ANEXO C

MAPA DE APTIDÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO



ANEXO D

MAPA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS



ANEXO E

RESULTADO DO ENSAIO DE MICROCOPIA ELETRONICA (MEV) AMOSTRA EXTRAÍDA DE JAZIDA

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 1

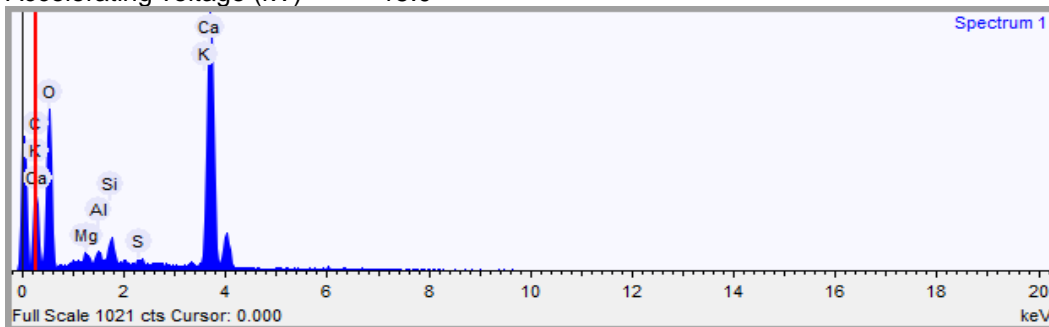
Electron Image

Image Width: 1.625 mm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 10.0 Process time 5
 Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method Stoichiometry (normalised)
 Combined element Oxygen
 Number of anions 8.0
 Coating element None

Summary results

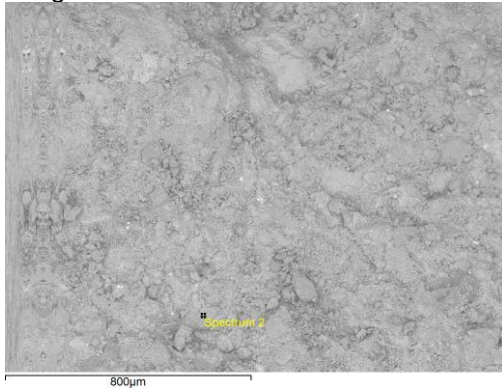
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	10.968	3.808	18.317	40.186	CO ₂
Magnesium	0.806	0.165	0.665	1.337	MgO
Aluminum	0.964	0.154	0.717	1.821	Al ₂ O ₃
Silicon	1.750	0.205	1.250	3.744	SiO ₂
Sulfur	0.518	0.127	0.324	1.294	SO ₃
Potassium	0.516	0.130	0.265	0.621	K ₂ O
Calcium	36.447	2.949	18.242	50.996	CaO
Oxygen	48.030	4.102	60.221		

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 2

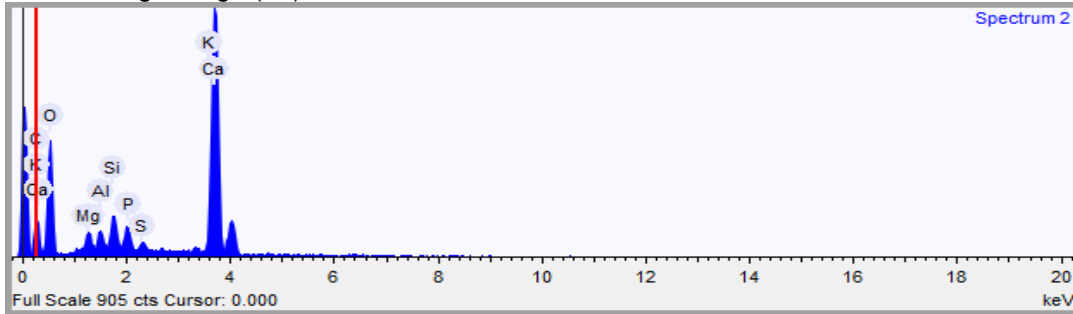
Electron Image

Image Width: 1.625 mm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 10.0 Process time 5
 Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

Quantification method Stoichiometry (normalised)
 Combined element Oxygen
 Number of anions 8.0
 Coating element None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	8.893	3.678	15.225	32.586	CO ₂
Magnesium	1.637	0.212	1.384	2.714	MgO
Aluminum	1.397	0.184	1.064	2.639	Al ₂ O ₃
Silicon	2.634	0.267	1.929	5.635	SiO ₂
Phosphorus	1.962	0.239	1.302	4.495	P ₂ O ₅
Sulfur	0.735	0.149	0.471	1.835	SO ₃
Potassium	0.757	0.147	0.398	0.911	K ₂ O
Calcium	35.153	2.713	18.034	49.185	CaO
Oxygen	46.833	3.952	60.192		

Spectrum details

Project New project Spectrum name Spectrum 3

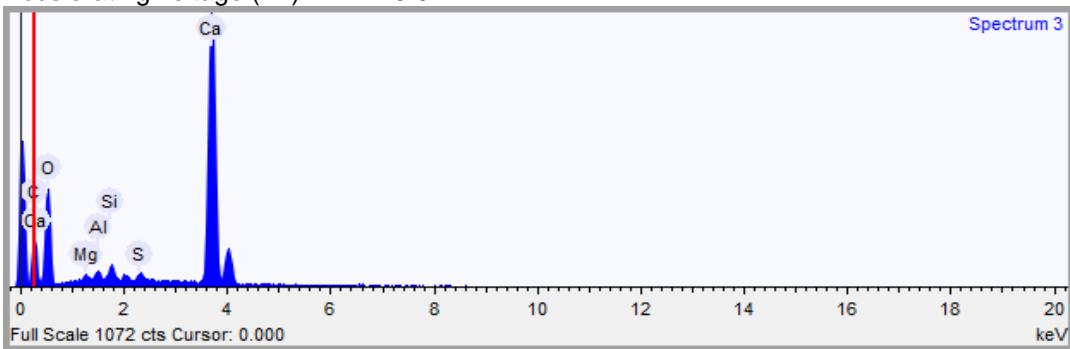
Electron Image

Image Width: 1.625 mm



Acquisition conditions

Acquisition time (s) 10.0 Process time 5
 Accelerating voltage (kV) 15.0



Quantification Settings

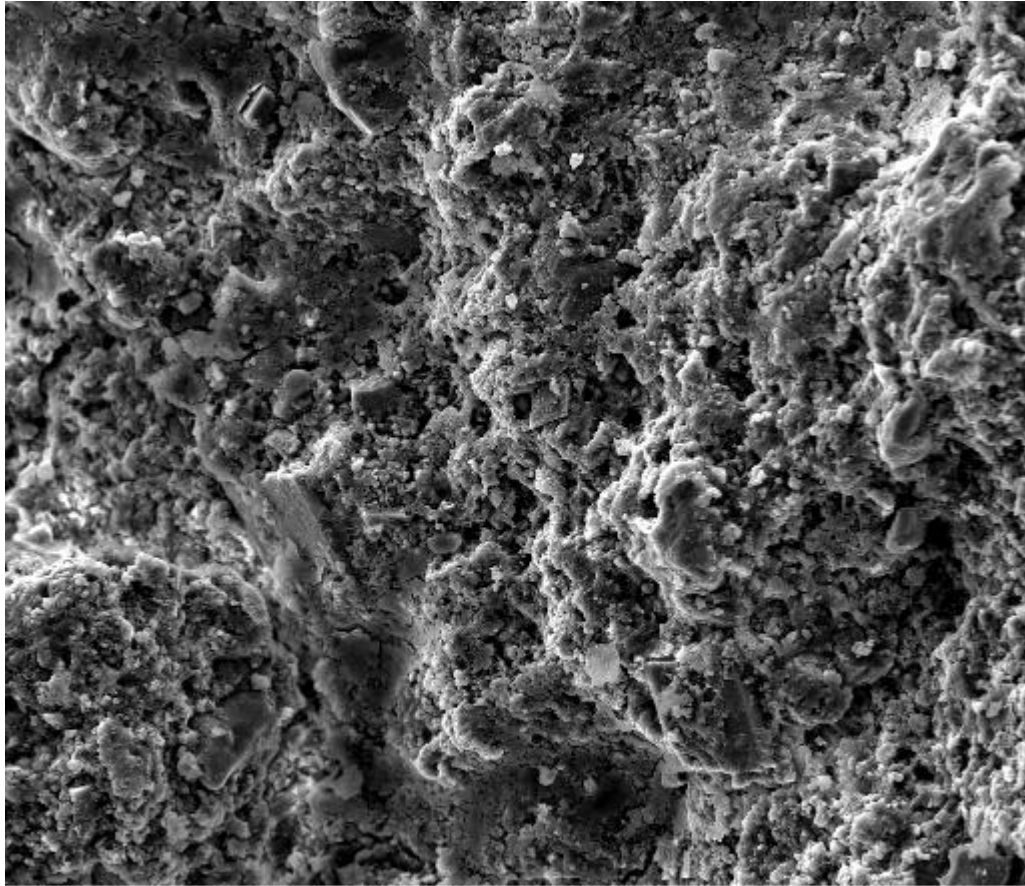
Quantification method Stoichiometry (normalised)
 Combined element Oxygen
 Number of anions 8.0
 Coating element None

Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	13.215	0.638	21.127	48.420	CO ₂
Magnesium	0.458	0.113	0.362	0.760	MgO
Aluminum	0.481	0.102	0.343	0.910	Al ₂ O ₃
Silicon	0.889	0.110	0.608	1.902	SiO ₂
Sulfur	0.488	0.108	0.293	1.220	SO ₃
Calcium	33.441	0.562	16.022	46.790	CaO
Oxygen	51.027	0.740	61.246		

ANEXO F

RESULTADO DO ENSAIO DE MICROCOPIA ELETRONICA (MEV) DE 5 AMOSTRAS
EXTRAÍDAS DE ANÁLISE DE FUNDAÇÕES EXISTENTES



WD 10.3 mm HV 20.00 kV mag 1 000 x curr 4.5 nA 12/17/2014 3:51:17 PM det ETD spot 6.0 50 µm Quanta

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	0.84	1.25	0.9993	0.2623	1.0042
MgK	13.96	19.55	1.0242	0.3750	1.0047
AlK	5.50	6.94	0.9939	0.3925	1.0069
SiK	12.58	15.25	1.0227	0.4772	1.0068
P K	2.58	2.83	0.9912	0.4981	1.0103
S K	4.79	5.08	1.0166	0.5946	1.0145
K K	1.05	0.91	0.9748	0.8241	1.0642
CaK	51.70	43.91	0.9971	0.8725	1.0018
FeK	7.01	4.27	0.9083	0.9022	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.03	4.23	36.25	0.24
MgK	25.77	4.83	2.80	5.33
AlK	10.33	4.23	5.09	2.44
SiK	28.10	5.44	2.70	5.17
P K	5.54	5.44	8.88	1.02
S K	12.07	5.44	4.82	2.22
K K	2.95	6.01	15.94	0.49
CaK	134.52	5.48	1.09	24.54
FeK	8.00	2.89	5.63	2.77

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	0.00	0.00	1.0555	0.1310	1.0005
MgK	0.20	0.40	1.0817	0.1896	1.0010
AlK	0.00	0.00	1.0494	0.2707	1.0022
SiK	0.67	1.15	1.0796	0.3763	1.0040
P K	0.70	1.09	1.0522	0.4918	1.0070
S K	0.34	0.51	1.0828	0.6051	1.0122
K K	1.93	2.39	1.0336	0.8601	1.0559
CaK	32.71	39.49	1.0566	0.8953	1.0198
FeK	63.46	54.98	0.9653	0.9411	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	0.00	0.18	0.00	0.00
MgK	0.15	0.20	78.17	0.75
AlK	0.00	0.18	0.00	0.00
SiK	0.96	0.23	19.69	4.22
P K	1.21	0.23	16.93	5.33
S K	0.71	0.23	24.22	3.11
K K	4.61	0.25	7.81	18.20
CaK	73.01	0.28	1.87	262.27
FeK	62.23	2.43	2.09	25.61

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	0.59	1.09	1.0269	0.1656	1.0011
MgK	1.27	2.22	1.0524	0.2395	1.0021
AlK	0.32	0.51	1.0211	0.3353	1.0042
SiK	2.86	4.34	1.0506	0.4553	1.0068
P K	1.45	2.00	1.0218	0.5576	1.0116
S K	0.80	1.06	1.0502	0.6617	1.0199
K K	1.96	2.13	1.0042	0.8913	1.0915
CaK	58.23	61.86	1.0268	0.9194	1.0091
FeK	32.51	24.78	0.9370	0.8999	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	0.21	0.21	65.47	1.00
MgK	0.70	0.24	27.16	2.87
AlK	0.24	0.21	58.63	1.14
SiK	2.85	0.27	11.26	10.44
P K	1.64	0.27	15.71	6.00
S K	1.06	0.27	20.80	3.89
K K	2.85	0.30	11.36	9.40
CaK	75.14	0.33	2.02	225.55
FeK	17.32	0.85	4.38	20.43

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	0.00	0.00	1.0571	0.1326	1.0009
MgK	0.30	0.56	1.0833	0.1916	1.0017
AlK	0.00	0.00	1.0511	0.2727	1.0037
SiK	10.54	17.43	1.0813	0.3783	1.0031
P K	1.18	1.77	1.0534	0.4310	1.0049
S K	3.52	5.10	1.0838	0.5391	1.0064
K K	0.93	1.11	1.0348	0.7958	1.0293
CaK	13.99	16.21	1.0579	0.8503	1.0224
FeK	69.54	57.82	0.9664	0.9672	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	0.00	14.94	0.00	0.00
MgK	1.14	20.83	100.60	0.05
AlK	0.00	20.25	0.00	0.00
SiK	76.55	30.25	2.69	2.53
P K	9.04	29.23	15.96	0.31
S K	33.15	26.30	4.91	1.26
K K	10.09	18.92	12.05	0.53
CaK	149.51	18.12	1.60	8.25
FeK	352.36	11.45	0.97	30.77

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	0.60	0.94	1.0037	0.2362	1.0033
MgK	2.53	3.73	1.0287	0.3406	1.0062
AlK	0.87	1.16	0.9982	0.4508	1.0116
SiK	28.18	35.93	1.0271	0.5795	1.0058
P K	0.00	0.00	0.9962	0.4558	1.0089
S K	2.79	3.11	1.0222	0.5711	1.0138
K K	6.37	5.83	0.9796	0.8195	1.0536
CaK	46.33	41.39	1.0020	0.8339	1.0030
FeK	12.33	7.91	0.9131	0.9029	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.60	11.20	54.23	0.14
MgK	10.28	16.97	11.46	0.61
AlK	4.58	16.59	23.77	0.28
SiK	184.60	25.94	1.48	7.12
P K	0.00	28.89	0.00	0.00
S K	16.31	24.56	8.78	0.66
K K	42.53	14.27	3.51	2.98
CaK	278.91	13.67	1.11	20.40
FeK	34.06	8.78	3.74	3.88

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 17:45:33 Date:17-Dec-2014
 kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.01 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 40

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	3.32	5.30	1.0003	0.2343	1.0023
MgK	4.40	6.64	1.0252	0.3231	1.0037
AlK	2.34	3.18	0.9948	0.4172	1.0064
SiK	3.78	4.94	1.0235	0.5311	1.0102
P K	2.83	3.36	0.9930	0.6199	1.0164
S K	3.08	3.52	1.0191	0.7038	1.0259
K K	1.73	1.63	0.9764	0.8999	1.1176
CaK	76.82	70.32	0.9987	0.9275	1.0004
FeK	1.69	1.11	0.9101	0.8681	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.55	0.17	14.06	8.86
MgK	2.99	0.20	9.72	14.98
AlK	2.00	0.17	12.12	11.43
SiK	4.04	0.22	8.28	18.00
P K	3.27	0.22	9.32	14.56
S K	3.99	0.22	8.34	17.78
K K	2.39	0.25	11.22	9.60
CaK	91.12	0.27	1.66	332.09
FeK	0.80	0.35	24.21	2.29

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 17:45:33 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.01 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 35

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	1.94	3.07	1.0002	0.2375	1.0027
MgK	3.58	5.34	1.0251	0.3351	1.0047
AlK	1.99	2.67	0.9948	0.4366	1.0084
SiK	12.74	16.45	1.0235	0.5541	1.0089
P K	3.10	3.63	0.9928	0.5537	1.0131
S K	2.49	2.82	1.0188	0.6419	1.0210
K K	1.17	1.08	0.9763	0.8672	1.0957
CaK	68.73	62.18	0.9986	0.9060	1.0011
FeK	4.27	2.77	0.9100	0.8781	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	0.89	1.17	33.66	0.76
MgK	2.45	1.34	15.43	1.83
AlK	1.73	1.17	19.49	1.48
SiK	13.78	1.51	4.97	9.15
P K	3.10	1.51	13.33	2.06
S K	2.84	1.51	14.21	1.89
K K	1.48	1.39	23.34	1.06
CaK	77.42	1.20	1.93	64.56
FeK	1.98	0.39	14.01	5.07

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 17:46:43 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.01 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 30

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	3.51	5.67	0.9994	0.2309	1.0021
MgK	2.83	4.33	1.0243	0.3180	1.0037
AlK	0.88	1.21	0.9939	0.4241	1.0069
SiK	4.93	6.52	1.0226	0.5528	1.0106
P K	2.66	3.18	0.9923	0.6274	1.0172
S K	1.75	2.02	1.0185	0.7122	1.0287
K K	0.25	0.24	0.9757	0.9135	1.1366
CaK	82.49	76.37	0.9979	0.9493	1.0002
FeK	0.69	0.46	0.9095	0.8629	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.29	0.00	15.81	1.29
MgK	1.52	0.78	20.75	1.96
AlK	0.61	0.68	41.11	0.90
SiK	4.40	0.87	10.14	5.04
P K	2.49	1.45	16.78	1.71
S K	1.84	1.45	21.27	1.27
K K	0.29	1.29	104.82	0.23
CaK	80.28	1.07	2.03	75.24
FeK	0.26	0.45	75.00	0.57

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 17:47:51 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.01 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 30

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.64	4.19	0.9998	0.2380	1.0025
MgK	3.63	5.45	1.0247	0.3319	1.0042
AlK	2.22	3.01	0.9943	0.4330	1.0073
SiK	6.90	8.97	1.0230	0.5485	1.0101
P K	3.30	3.89	0.9924	0.6033	1.0155
S K	3.59	4.08	1.0185	0.6845	1.0239
K K	2.18	2.04	0.9759	0.8852	1.1066
CaK	73.83	67.25	0.9981	0.9128	1.0004
FeK	1.70	1.11	0.9096	0.8704	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.01	0.00	17.96	1.01
MgK	2.05	0.00	12.61	2.05
AlK	1.60	0.00	14.29	1.60
SiK	6.17	0.00	7.27	6.17
P K	3.00	0.00	10.43	3.00
S K	3.66	0.00	9.45	3.66
K K	2.38	0.00	11.70	2.38
CaK	69.86	0.00	2.16	69.86
FeK	0.65	0.46	34.64	1.43

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 17:49:40 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.01 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 38

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.26	3.68	1.0017	0.2255	1.0021
MgK	3.59	5.53	1.0266	0.3175	1.0036
AlK	1.79	2.49	0.9961	0.4174	1.0064
SiK	3.43	4.57	1.0249	0.5365	1.0104
P K	3.01	3.64	0.9946	0.6286	1.0168
S K	2.43	2.84	1.0210	0.7096	1.0271
K K	1.63	1.56	0.9780	0.9074	1.1244
CaK	78.90	73.71	1.0003	0.9342	1.0008
FeK	2.95	1.98	0.9117	0.8659	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte	Inte. Error	P/B
NaK	0.92	0.00	16.90	0.92
MgK	2.17	0.00	10.98	2.17
AlK	1.39	0.00	13.74	1.39
SiK	3.35	0.00	8.84	3.35
P K	3.19	0.00	9.05	3.19
S K	2.88	0.00	9.53	2.88
K K	2.07	0.00	11.25	2.07
CaK	85.30	0.00	1.75	85.30
FeK	1.26	0.00	14.43	1.26

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 18:04:17 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.09 AmpT : 12.8
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:126.90 Lsec 34

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.34	3.24	1.0022	0.3167	1.0053
MgK	11.82	15.51	1.0272	0.4294	1.0071
AlK	5.24	6.20	0.9969	0.4458	1.0109
SiK	10.75	12.22	1.0257	0.5275	1.0140
P K	20.84	21.46	0.9929	0.5470	1.0114
S K	24.94	24.82	1.0177	0.5040	1.0029
K K	0.00	0.00	0.9767	0.6602	1.0120
CaK	12.49	9.94	0.9993	0.7399	1.0029
FeK	11.57	6.61	0.9097	0.9421	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	0.11	0.40	141.42	0.29
MgK	0.83	0.43	26.50	1.93
AlK	0.37	0.60	57.05	0.62
SiK	0.89	1.03	32.74	0.86
P K	1.63	1.29	21.27	1.27
S K	1.75	1.29	20.14	1.36
K K	0.00	1.35	0.00	0.00
CaK	0.92	1.06	32.17	0.86
FeK	0.46	0.40	41.46	1.14

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 18:04:17 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.09 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 36

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.58	4.15	1.0046	0.2241	1.0023
MgK	3.43	5.22	1.0296	0.3132	1.0040
AlK	2.41	3.30	0.9991	0.4129	1.0070
SiK	7.49	9.86	1.0279	0.5254	1.0093
P K	2.91	3.47	0.9975	0.5787	1.0145
S K	6.04	6.96	1.0238	0.6665	1.0202
K K	1.27	1.20	0.9808	0.8593	1.0890
CaK	65.11	60.05	1.0031	0.8989	1.0022
FeK	8.76	5.80	0.9143	0.8831	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.66	0.97	19.00	1.71
MgK	3.27	1.11	11.94	2.95
AlK	2.94	1.16	13.00	2.52
SiK	11.42	1.50	5.53	7.63
P K	4.52	1.50	10.10	3.02
S K	10.64	1.50	5.78	7.11
K K	2.36	1.39	16.00	1.70
CaK	108.23	1.52	1.62	71.00
FeK	6.07	0.78	7.57	7.82

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 18:05:42 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.09 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 30

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	1.19	1.82	0.9975	0.2569	1.0033
MgK	2.56	3.70	1.0223	0.3660	1.0061
AlK	1.88	2.45	0.9921	0.4799	1.0111
SiK	20.29	25.44	1.0207	0.5988	1.0089
P K	3.67	4.18	0.9897	0.5196	1.0121
S K	6.12	6.73	1.0153	0.6054	1.0165
K K	1.53	1.38	0.9732	0.8215	1.0716
CaK	59.36	52.15	0.9955	0.8668	1.0008
FeK	3.39	2.14	0.9070	0.8867	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	0.82	0.69	32.74	1.19
MgK	2.66	0.79	14.04	3.37
AlK	2.50	0.69	14.29	3.62
SiK	32.88	0.89	3.24	37.07
P K	4.76	0.89	9.73	5.37
S K	9.10	0.89	6.57	10.26
K K	2.50	0.99	15.34	2.53
CaK	88.58	1.08	1.95	81.73
FeK	2.20	0.46	14.55	4.79

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 18:06:55 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.09 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 33

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	14.37	20.90	1.0007	0.2705	1.0025
MgK	3.46	4.76	1.0257	0.2998	1.0040
AlK	2.46	3.05	0.9953	0.3963	1.0070
SiK	8.15	9.70	1.0241	0.5068	1.0090
P K	3.34	3.60	0.9923	0.5564	1.0135
S K	10.88	11.35	1.0176	0.6425	1.0147
K K	1.12	0.96	0.9759	0.8162	1.0619
CaK	51.07	42.60	0.9983	0.8655	1.0013
FeK	5.15	3.08	0.9092	0.9006	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	6.20	1.45	8.38	4.27
MgK	1.75	1.90	23.21	0.92
AlK	1.60	1.66	23.86	0.96
SiK	6.65	2.14	8.56	3.11
P K	2.76	2.14	16.55	1.29
S K	10.18	2.14	6.43	4.76
K K	1.07	2.08	36.85	0.51
CaK	45.30	1.96	2.67	23.12
FeK	2.02	0.42	14.41	4.86

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 18:08:08 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.09 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 32

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	3.27	4.98	0.9972	0.2582	1.0031
MgK	3.60	5.18	1.0220	0.3532	1.0054
AlK	1.60	2.07	0.9917	0.4561	1.0099
SiK	16.73	20.84	1.0204	0.5779	1.0090
P K	2.70	3.05	0.9893	0.5357	1.0132
S K	7.42	8.09	1.0149	0.6285	1.0173
K K	0.70	0.62	0.9729	0.8281	1.0761
CaK	61.14	53.37	0.9952	0.8779	1.0007
FeK	2.85	1.79	0.9066	0.8859	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	2.52	1.96	17.76	1.29
MgK	4.02	2.49	13.19	1.61
AlK	2.24	2.40	20.88	0.94
SiK	29.13	3.37	3.63	8.66
P K	4.02	3.52	14.61	1.14
S K	12.74	3.65	6.20	3.50
K K	1.28	2.49	34.58	0.51
CaK	102.85	2.06	1.77	50.02
FeK	2.06	0.87	16.74	2.36

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : Chlorite (Nrm.%= 38.86, 20.96, 34.83, 1.14, 3.84, 0.28)
 Acquisition Time : 18:09:17 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.09 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 32

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.40	3.67	0.9974	0.2567	1.0032
MgK	2.99	4.31	1.0222	0.3572	1.0057
AlK	2.07	2.69	0.9919	0.4661	1.0103
SiK	18.11	22.66	1.0206	0.5829	1.0088
P K	2.75	3.12	0.9895	0.5276	1.0128
S K	6.72	7.37	1.0151	0.6205	1.0172
K K	0.75	0.67	0.9731	0.8274	1.0758
CaK	61.09	53.54	0.9954	0.8769	1.0008
FeK	3.12	1.96	0.9068	0.8859	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.80	2.14	23.91	0.84
MgK	3.30	2.69	15.62	1.23
AlK	2.91	2.39	16.68	1.22
SiK	31.14	3.30	3.45	9.43
P K	3.95	3.30	14.40	1.19
S K	11.17	3.30	6.60	3.38
K K	1.35	2.45	32.46	0.55
CaK	100.52	2.36	1.78	42.68
FeK	2.20	0.89	15.84	2.48

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : amostra 04
 Acquisition Time : 18:14:46 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:19.97 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 35

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	1.66	2.39	0.9990	0.2820	1.0050
MgK	4.66	6.32	1.0239	0.3930	1.0087
AlK	1.62	1.98	0.9936	0.4845	1.0159
SiK	41.26	48.47	1.0224	0.6041	1.0047
P K	1.98	2.11	0.9903	0.3886	1.0061
S K	4.80	4.94	1.0154	0.4873	1.0078
K K	7.11	6.00	0.9741	0.7479	1.0258
CaK	25.75	21.20	0.9965	0.7733	1.0028
FeK	11.16	6.60	0.9075	0.9254	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.03	1.17	29.73	0.88
MgK	4.25	1.56	10.65	2.73
AlK	1.78	1.36	19.89	1.31
SiK	54.82	1.75	2.32	31.30
P K	1.56	1.75	24.09	0.89
S K	4.64	1.75	10.25	2.65
K K	8.23	1.67	6.89	4.93
CaK	28.05	1.53	3.32	18.35
FeK	6.17	0.78	7.51	7.93

c:\edax32\genesis\genspc.spc
Label : amostra 04
Acquisition Time : 18:16:38 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:19.97 AmpT : 6.4
Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 29

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.63	3.55	0.9926	0.3231	1.0067
MgK	31.96	40.83	1.0174	0.4355	1.0034
AlK	5.89	6.78	0.9873	0.3171	1.0042
SiK	4.83	5.34	1.0159	0.3966	1.0058
P K	2.66	2.67	0.9832	0.4822	1.0089
S K	4.62	4.47	1.0076	0.5791	1.0122
K K	0.99	0.79	0.9672	0.8167	1.0541
CaK	44.53	34.51	0.9896	0.8675	1.0005
FeK	1.90	1.06	0.9008	0.9132	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	2.70	0.94	14.45	2.89
MgK	46.61	1.07	2.74	43.62
AlK	6.08	0.94	8.48	6.50
SiK	6.11	1.20	8.73	5.08
P K	3.77	1.20	12.04	3.14
S K	7.71	1.20	7.54	6.42
K K	1.87	1.34	20.82	1.40
CaK	78.67	1.47	2.10	53.55
FeK	1.50	0.47	18.99	3.21

c:\edax32\genesis\genspc.spc
Label : amostra 04
Acquisition Time : 18:17:45 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:19.97 AmpT : 6.4
Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 30

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.89	4.61	1.0013	0.2330	1.0024
MgK	2.51	3.79	1.0262	0.3235	1.0043
AlK	1.64	2.22	0.9958	0.4324	1.0077
SiK	9.13	11.91	1.0246	0.5535	1.0097
P K	2.39	2.83	0.9940	0.5857	1.0152
S K	5.69	6.50	1.0202	0.6774	1.0217
K K	2.40	2.25	0.9774	0.8675	1.0940
CaK	68.82	62.92	0.9997	0.8974	1.0011
FeK	4.53	2.97	0.9111	0.8758	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.20	0.70	24.53	1.71
MgK	1.53	0.80	21.10	1.91
AlK	1.30	0.77	23.64	1.70
SiK	9.08	1.20	6.80	7.58
P K	2.33	1.20	17.02	1.94
S K	6.32	1.20	8.52	5.28
K K	2.79	1.00	14.29	2.80
CaK	70.68	1.10	2.20	64.39
FeK	1.93	0.47	15.99	4.14

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : amostra 04
 Acquisition Time : 18:19:02 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:19.97 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 31

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	0.00	0.00	1.0003	0.2226	1.0022
MgK	3.79	5.92	1.0252	0.3266	1.0036
AlK	1.24	1.75	0.9948	0.4264	1.0067
SiK	2.91	3.93	1.0235	0.5517	1.0112
P K	2.37	2.91	0.9935	0.6481	1.0187
S K	3.55	4.21	1.0199	0.7331	1.0295
K K	0.84	0.82	0.9768	0.9125	1.1359
CaK	83.60	79.30	0.9990	0.9439	1.0004
FeK	1.70	1.16	0.9107	0.8599	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	0.00	1.55	0.00	0.00
MgK	3.42	2.28	14.71	1.50
AlK	1.43	2.00	29.06	0.71
SiK	4.25	2.57	12.84	1.65
P K	3.77	2.57	14.09	1.47
S K	6.34	2.57	9.51	2.47
K K	1.58	2.22	27.57	0.71
CaK	132.90	2.09	1.57	63.53
FeK	1.05	0.89	28.59	1.18

c:\edax32\genesis\genspc.spc
 Label : amostra 04
 Acquisition Time : 18:20:16 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:19.97 AmpT : 6.4
 Detector Type:SDD Apollo X Resolution:127.54 Lsec 31

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	2.75	4.38	1.0001	0.2337	1.0024
MgK	4.40	6.63	1.0250	0.3255	1.0039
AlK	2.24	3.04	0.9946	0.4197	1.0068
SiK	5.68	7.42	1.0233	0.5345	1.0098
P K	2.10	2.49	0.9928	0.6036	1.0161
S K	3.98	4.55	1.0189	0.6965	1.0248
K K	1.14	1.07	0.9762	0.8898	1.1125
CaK	75.19	68.76	0.9985	0.9241	1.0006
FeK	2.52	1.65	0.9100	0.8701	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	1.91	1.75	21.56	1.09
MgK	4.50	2.00	11.46	2.25
AlK	2.88	1.75	15.52	1.64
SiK	9.14	2.25	7.15	4.06
P K	3.54	2.25	14.19	1.57
S K	7.64	2.25	8.07	3.39
K K	2.32	1.88	18.82	1.23
CaK	133.05	1.72	1.55	77.27
FeK	1.78	0.47	16.36	3.80

c:\edax32\genesis\genspc.spc

Label : amostra 05

Acquisition Time : 18:29:11 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.33 AmpT : 12.8

Detector Type:SDD Apollo X Resolution:126.90 Lsec 42

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	38.22	45.47	0.9999	0.5032	1.0036
MgK	5.75	6.47	1.0249	0.2812	1.0048
AlK	7.49	7.59	0.9947	0.3575	1.0067
SiK	11.31	11.01	1.0236	0.4261	1.0072
P K	13.38	11.81	0.9885	0.4630	1.0056
S K	11.61	9.90	1.0116	0.4892	1.0023
K K	4.99	3.49	0.9728	0.7156	1.0039
CaK	3.62	2.47	0.9955	0.7596	1.0010
FeK	3.65	1.79	0.9052	0.9658	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	21.46	0.17	3.34	130.00
MgK	1.91	0.17	12.05	11.54
AlK	3.07	0.17	9.23	18.57
SiK	5.40	0.42	7.11	12.72
P K	6.34	0.42	6.49	14.94
S K	5.66	0.61	7.12	9.23
K K	2.74	0.92	12.01	2.97
CaK	1.96	1.04	15.76	1.89
FeK	1.06	0.99	25.24	1.07

c:\edax32\genesis\genspc.spc

Label : amostra 05

Acquisition Time : 18:30:52 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.33 AmpT : 12.8

Detector Type:SDD Apollo X Resolution:126.90 Lsec 31

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	46.18	54.02	1.0013	0.5328	1.0030
MgK	5.35	5.92	1.0263	0.2530	1.0037
AlK	1.56	1.55	0.9961	0.3281	1.0066
SiK	3.15	3.02	1.0251	0.4363	1.0108
P K	20.48	17.78	0.9896	0.5339	1.0070
S K	17.08	14.33	1.0126	0.4967	1.0007
K K	1.95	1.34	0.9739	0.6932	1.0008
CaK	0.00	0.00	0.9967	0.7583	1.0013
FeK	4.24	2.04	0.9062	0.9732	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	37.35	1.88	3.07	19.83
MgK	2.17	2.78	22.89	0.78
AlK	0.80	3.48	62.35	0.23
SiK	2.11	6.03	31.93	0.35
P K	15.26	5.33	5.96	2.86
S K	11.49	4.69	7.10	2.45
K K	1.40	3.19	35.50	0.44
CaK	0.00	3.06	0.00	0.00
FeK	1.69	0.45	16.98	3.79

c:\edax32\genesis\genspc.spc

Label : amostra 05

Acquisition Time : 18:32:06 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.33 AmpT : 12.8

Detector Type:SDD Apollo X Resolution:126.90 Lsec 30

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	40.92	47.82	0.9986	0.5489	1.0037
MgK	6.70	7.40	1.0236	0.2783	1.0046
AlK	7.46	7.43	0.9934	0.3485	1.0064
SiK	10.69	10.22	1.0223	0.4174	1.0070
P K	13.60	11.80	0.9869	0.4599	1.0051
S K	11.03	9.24	1.0098	0.4853	1.0019
K K	3.93	2.70	0.9713	0.7159	1.0036
CaK	3.47	2.32	0.9940	0.7661	1.0006
FeK	2.21	1.06	0.9037	0.9683	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	36.88	0.23	3.00	161.14
MgK	3.23	0.23	10.75	14.11
AlK	4.38	0.23	9.08	19.14
SiK	7.36	0.29	6.93	25.00
P K	9.42	0.29	6.07	32.00
S K	7.85	0.29	6.69	26.67
K K	3.17	0.65	12.07	4.85
CaK	2.78	0.72	13.36	3.86
FeK	0.95	0.92	31.79	1.04

c:\edax32\genesis\genspc.spc

Label : amostra 05

Acquisition Time : 18:33:32 Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.33 AmpT : 12.8

Detector Type:SDD Apollo X Resolution:126.90 Lsec 30

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	36.96	43.06	0.9917	0.5396	1.0050
MgK	1.27	1.40	1.0165	0.2963	1.0079
AlK	1.57	1.56	0.9866	0.4055	1.0145
SiK	49.75	47.45	1.0152	0.5220	1.0009
P K	0.00	0.00	0.9801	0.3229	1.0012
S K	2.24	1.87	1.0029	0.4250	1.0010
K K	1.93	1.32	0.9646	0.7122	1.0024
CaK	1.72	1.15	0.9872	0.7753	1.0014
FeK	4.56	2.19	0.8975	0.9752	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	27.51	1.52	3.62	18.04
MgK	0.55	2.24	73.42	0.25
AlK	0.91	2.56	48.71	0.35
SiK	35.72	4.25	3.35	8.40
P K	0.00	4.70	0.00	0.00
S K	1.17	4.28	48.11	0.27
K K	1.30	2.76	36.23	0.47
CaK	1.17	2.34	37.27	0.50
FeK	1.65	0.45	17.43	3.64

c:\edax32\genesis\genspc.spc

Label : amostra 05

Acquisition Time : 18:34:43

Date:17-Dec-2014

kV : 20.01 Tilt: 0.00 Take-off:20.33 AmpT : 12.8

Detector Type:SDD Apollo X Resolution:126.90 Lsec 34

Element	Wt %	At %	Z	A	F
NaK	34.81	43.32	1.0012	0.4257	1.0029
MgK	1.95	2.29	1.0262	0.2775	1.0047
AlK	2.94	3.12	0.9959	0.3785	1.0081
SiK	12.10	12.33	1.0248	0.4821	1.0090
P K	12.47	11.52	0.9904	0.5022	1.0083
S K	14.67	13.09	1.0141	0.5259	1.0043
K K	8.42	6.16	0.9745	0.7244	1.0082
CaK	8.40	6.00	0.9973	0.7470	1.0011
FeK	4.24	2.17	0.9071	0.9517	1.0000
Total	100.00	100.00			

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
NaK	8.38	0.21	6.07	40.71
MgK	0.32	0.21	45.57	1.57
AlK	0.65	0.21	27.27	3.14
SiK	3.32	0.26	10.13	12.56
P K	3.26	0.53	10.92	6.17
S K	3.91	0.53	9.77	7.39
K K	2.38	0.88	14.66	2.70
CaK	2.26	0.97	15.53	2.33
FeK	0.62	0.82	41.79	0.75

ANEXO G

RESULTADO DO ENSAIO DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X DE AMOSTRA EXTRAÍDA DA
JAZIDA

Calcário	2014- 2-18 14:33	11	1
Al ₂ O ₃	mass% 113	1.5953	
SiO ₂	mass% 114	5.7798	
P ₂ O ₅	mass% 115	0.5799	
SO ₃	mass% 116	0.5452	
Cl	mass% 17	0.0185	
K ₂ O	mass% 119	1.2902	
CaO	mass% 120	85.589	
MnO	mass% 125	0.1212	
Fe ₂ O ₃	mass% 126	4.2007	
SrO	mass% 138	0.1104	
CdO	mass% 148	0.1701	