



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS**  
**DAS BARRAGENS DOS PROGRAMAS PROURB-RH E PROGERIRH**  
**POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

**ORLEANI COSTA RAMOS**

**FORTALEZA – CE**  
**2008**

**ORLEANI COSTA RAMOS**

**ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS  
DAS BARRAGENS DOS PROGRAMAS PROURB-RH E PROGERIRH  
POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**


Dissertação submetida à coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, área de Concentração em Recursos Hídricos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil.

ORIENTADORA: Prof.<sup>a</sup> Carísia Carvalho Gomes, Dra.

Fortaleza, 10 de outubro de 2008.

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos.

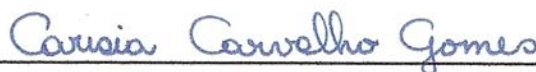
A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de acordo com as normas da ética científica.



Orleani Costa Ramos

Dissertação aprovada em 10 de outubro de 2008.

Examinadores:



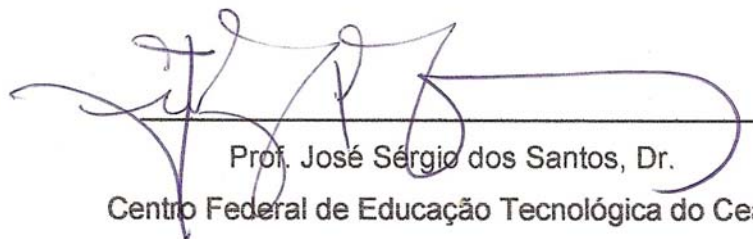
Prof.<sup>a</sup> Carisia Carvalho Gomes (Orientadora), Dra.

Universidade Federal do Ceará



Prof. Silvrano Adonias Dantas Neto, Dr.

Universidade Federal do Ceará



Prof. José Sérgio dos Santos, Dr.

Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará

*Fazendo da clareza e da realidade os princípios de trabalho de um Engenheiro consciencioso, não se pode negar que as pesquisas do solo constituem elemento valioso. São elas, somente, que possibilitam o reconhecimento exato das qualidades do subsolo e permitem prever o comportamento da obra depois de concluída.*

Kollbrunner

Dedico aos meus pais, Benedito e Francisca, exemplos que me guiam em todos os momentos.

À minha esposa Alina, companheira de todas as horas, parceira na profissão e na vida, com quem divido todos os sonhos e conquistas.

Ao meu filho que ainda está no ventre de minha esposa e que é a maior razão de minha felicidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus que me permitiu conquistar esse objetivo. Espero aplicar os conhecimentos adquiridos no Mestrado para o bem do próximo, utilizando o bom senso e a retidão nas minhas ações profissionais.

Sou grato aos meus pais, José Benedito Ramos e Francisca Costa Ramos, pelo estímulo, pelo amor e pelo esforço dispensado para me proporcionar uma educação de qualidade, mas, além disso, formação moral e humana. Também à minha irmã Islane, pelo carinho e companheirismo.

À minha esposa Alina, com quem partilho dos desafios da carreira na engenharia e no estudo dos Recursos Hídricos, agradeço pelo amor, estímulo, dedicação e pela presença constante.

Agradeço em caráter especial à professora doutora Carisia Carvalho Gomes, pela orientação para a realização deste trabalho, pelos ensinamentos, pela amizade e pelo estímulo.

Aos professores doutores Silvrano Adonias Dantas Neto e José Sérgio dos Santos, pela colaboração em participar desta banca examinadora.

À coordenação do Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, na pessoa do professor doutor Horst Frischkorn.

Aos professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, pelos conhecimentos transmitidos e pela dedicação aos cursos de mestrado e doutorado.

Aos amigos Andréa Cysne, Carlos Leal, Eloneide França, Fernando Fernandes, Marcus Vinícius, Sílvia Helena e Vanessa Ueta pela amizade e companheirismo no decorrer do curso.

Aos funcionários da SRH-CE, pela disponibilização dos dados necessários, assim como pela atenção que me foi dispensada, em especial ao Régis.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao Erivelton.

Ao CNPQ, que possibilitou a realização desta pesquisa, através da bolsa concedida.

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 2.1</b> – Municípios atendidos pelo PROURB-RH. ....	25
<b>Figura 2.2</b> – Diagrama de arranjo de ensaios de cisalhamento direto. ....	36
<b>Figura 3.1</b> – Localização do Estado do Ceará. ....	38
<b>Figura 3.2</b> – Tipos climáticos do Estado do Ceará. ....	41
<b>Figura 3.3</b> – Precipitação média anual do Estado do Ceará. ....	43
<b>Figura 3.4</b> – Vegetação de caatinga hipoxerófila. ....	44
<b>Figura 3.5</b> – Algaroba. ....	45
<b>Figura 3.6</b> – Mandacaru. ....	45
<b>Figura 3.7</b> – Cerrado. ....	46
<b>Figura 3.8</b> – Carnaubeira (árvore símbolo do Estado do Ceará). ....	46
<b>Figura 3.9</b> – Vegetação do Estado do Ceará. ....	47
<b>Figura 3.10</b> – Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. ....	49
<b>Figura 3.11</b> – Esquema do relevo de uma cuesta. ....	64
<b>Figura 3.12</b> – Mapa da geologia do Estado do Ceará. ....	72
<b>Figura 3.13</b> – Perfil Esquemático de um Vale na Região do Cristalino. ....	73
<b>Figura 3.14</b> – Horizontes do solo de alteração. ....	74
<b>Figura 4.1</b> – Localização das barragens construídas pelo PROURB-RH no Estado de Ceará. ....	82
<b>Figura 4.2</b> – Localização das barragens construídas pelo PROGERIRH no Estado do Ceará. ....	83
<b>Figura 5.1</b> – Geologia Geral das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. ....	94

<b>Figura 5.2</b> – Geologia Local das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. ....	95
<b>Figura 5.3</b> – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Perda d'água <i>Lugeon</i> . ....	97
<b>Figura 5.4</b> – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Permeabilidade “in situ” de carga constante <i>Le Franc</i> . ....	98
<b>Figura 5.5</b> – Caracterização das áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Tipos de solo. ....	100
<b>Figura 5.6</b> – Ensaio de cisalhamento direto lento nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Coesão <i>c</i> . ....	102
<b>Figura 5.7</b> – Ensaio de cisalhamento direto lento nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Ângulo de atrito $\phi$ . ....	103
<b>Figura 5.8</b> – Ensaio de permeabilidade de carga variável nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. ....	105
<b>Figura 5.9</b> – Pacote Aluvionar das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. ...	110
<b>Figura 5.10</b> – Caracterização das áreas de empréstimo de materiais granulares das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Tipos de solo. ....	111
<b>Figura 5.11</b> – Ensaio de permeabilidade de carga constante nas áreas de empréstimo de materiais granulares das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. ....	113
<b>Figura 5.12</b> – Caracterização das áreas de empréstimo de materiais pétreos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. – Tipos de Rocha. ....	116
<b>Figura 5.13</b> – Ensaio de abrasão <i>Los Angeles</i> dos materiais pétreos das áreas de empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. ....	117
<b>Figura 5.14</b> – Graduação (ensaio de abrasão <i>Los Angeles</i> ) dos materiais pétreos das áreas de empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. ....	118

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> – Sistema Unificado de Classificação dos Solos. ....	33
<b>Tabela 2.2</b> – Valores típicos do ângulo de atrito para areias e siltes.....	35
<b>Tabela 3.1</b> – Coordenada dos pontos limites do Estado do Ceará.....	37
<b>Tabela 3.2</b> – Área de unidades de conservação no Estado do Ceará.....	40
<b>Tabela 3.3</b> – Unidades geomorfológicas existentes no Estado do Ceará. ....	59
<b>Tabela 4.1</b> – Relação de barragens construídas pelo PROURB-RH.....	80
<b>Tabela 4.2</b> – Relação de barragens construídas pelo PROGERIRH.....	81
<b>Tabela 4.3</b> – Geologia local das barragens construídas pelo PROURB-RH. ....	84
<b>Tabela 4.4</b> – Geologia local das barragens construídas pelo PROGERIRH. ....	84
<b>Tabela 4.5</b> – Pacote aluvionar das barragens construídas pelo PROURB-RH. ....	85
<b>Tabela 4.6</b> – Pacote aluvionar das barragens construídas pelo PROGERIRH. ....	85
<b>Tabela 4.7</b> – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROURB-RH....	86
<b>Tabela 4.8</b> – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROGERIRH....	86
<b>Tabela 4.9</b> – Caracterização das áreas de empréstimo (material terroso).....	87
das barragens construídas pelo PROURB-RH.....	87
<b>Tabela 4.10</b> – Caracterização das áreas de empréstimo (material terroso).....	87
das barragens construídas pelo PROGERIRH.....	87
<b>Tabela 4.11</b> – Caracterização das áreas de empréstimo (material granular e pétreo) das barragens construídas pelo PROURB-RH.....	88

<b>Tabela 4.12</b> – Caracterização das áreas de empréstimo (material granular e pétreo) das barragens construídas pelo PROGERIRH. ....	88
<b>Tabela 5.1</b> – Comparação entre a Geologia Geral e a Geologia Local das barragens construídas pelo PROURB-RH. ....	91
<b>Tabela 5.1</b> – Comparação entre a Geologia Geral e a Geologia Local das barragens construídas pelo PROURB-RH. – (cont.). ....	92
<b>Tabela 5.2</b> – Comparação entre a Geologia Geral e a Geologia Local das barragens construídas pelo PROGERIRH. ....	92
<b>Tabela 5.3</b> – Tipologia dos materiais terrosos disponíveis nas Áreas de Empréstimos das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. ....	99
<b>Tabela 5.4</b> – Comparação entre Pacote Aluvionar e Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH. ....	106
<b>Tabela 5.4</b> – Comparação entre Pacote Aluvionar e Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH. – (cont.). ....	107
<b>Tabela 5.5</b> – Comparação entre Pacote Aluvionar e Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo das barragens construídas pelo PROGERIRH. ....	107
<b>Tabela 5.6</b> – Tipologia dos materiais granulares disponíveis nas Áreas de Empréstimos das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. ....	109
<b>Tabela 5.7</b> – Tipologia dos materiais pétreos disponíveis nas Áreas de Empréstimos das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. ....	114

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNOCS	Departamento Nacional de Obras contra as Secas
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GED	Gerenciamento Eletrônico de Documentos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IOCS	Instituto de Obras contra as Secas
IFOCS	Instituto Nacional de Obras contra as Secas
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROGERIRH	Projeto de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
PROURB-RH	Projeto de Desenvolvimento Urbano e Gestão dos Recursos Hídricos
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
SEMACE	Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Estado do Ceará
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas do Estado do Ceará
SRH-CE	Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
SUCS	Sistema Unificado de Classificação dos Solos
UnB	Universidade de Brasília

**LISTA DE SÍMBOLOS**

c	Coesão
C	Argila
CH	Argila de alta compressibilidade
CL	Argila de baixa compressibilidade
D	Diâmetro
G	Pedregulho
GC	Pedregulho argiloso
GM	Pedregulho siltoso
GP	Pedregulho mal graduado
GW	Pedregulho bem graduado
h	Altura
H	Alta compressibilidade
k	Coefficiente de permeabilidade
L	Baixa compressibilidade
LL	Limite de Liquidez
M	Silte
MH	Silte de alta compressibilidade
ML	Silte de baixa compressibilidade
O	Orgânico
OH	Solo orgânico de alta compressibilidade
OL	Solo orgânico de baixa compressibilidade
P	Mal graduado
Q90	Vazão regularizada com 90 % de garantia
R	Resistência à compressão
S	Areia
SC	Areia argilosa
SM	Areia siltosa
SP	Areia mal graduada
SW	Areia bem graduada
W	Bem graduado
$\phi$	Ângulo de Atrito
$\sigma$	Tensão normal
$\tau$	Tensão de cisalhamento
$\tau_r$	Tensão de ruptura

## **SUMÁRIO**

1	INTRODUÇÃO .....	18
1.1	Justificativa.....	19
1.2	Objetivos da pesquisa.....	21
1.3	Organização da Dissertação .....	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1	Barragens.....	26
2.2	Fundações de Barragens de Terra.....	31
2.3	Classificação dos Solos.....	31
2.3.1	Sistemas de Classificação.....	32
2.4	Permeabilidade dos Solos.....	33
2.5	Resistência ao Cisalhamento do Solo.....	34
2.5.1	Ensaio de cisalhamento direto.....	35
3	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO .....	37
3.1	Localização .....	37
3.2	Clima .....	40
3.3	Vegetação .....	44
3.4	Hidrologia .....	48
3.4.1	Bacia do Médio Jaguaribe .....	50
3.4.2	Bacia do Salgado .....	51
3.4.3	Bacia do Banabuiú.....	51
3.4.4	Bacia do Acaraú.....	52
3.4.5	Bacia do Litoral .....	53
3.4.6	Bacia do Curu .....	53
3.4.7	Bacia do Baixo Jaguaribe .....	54

3.4.8 Bacia do Alto Jaguaribe .....	54
3.4.9 Bacia do Rio Parnaíba .....	55
3.4.10 Bacia Metropolitana .....	56
3.4.11 Bacia do Rio Coreaú .....	57
3.5 Geomorfologia .....	58
3.5.1 Planície Litorânea .....	59
3.5.2 Tabuleiros Sub-litorâneos .....	61
3.5.3 Depressão Sertaneja .....	62
3.5.4 Chapada do Apodi .....	64
3.5.5 Chapada do Araripe .....	65
3.5.6 Planalto da Ibiapaba .....	66
3.5.7 Maciços Residuais Cristalinos .....	67
3.5.8 Cristas Residuais e Inselbergs .....	68
3.5.9 Planícies Fluviais .....	69
3.5.10 Pontos Culminantes do Estado do Ceará .....	70
3.6 Geologia .....	71
3.7 Hidrogeologia .....	75
4 METODOLOGIA .....	77
4.1 Seleção dos dados (barragens).....	78
4.2 Métodos.....	89
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	90
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	121

## **RESUMO**

Entre as ações realizadas para minimizar os efeitos da seca no Estado do Ceará, a construção de barragens tem sido aquela de maior vulto, aliada a ações complementares como a construção de canais e adutoras. Entre as pesquisas essenciais para a elaboração de um projeto de barragens, devem ser realizados estudos de caracterização do meio físico (localização, clima, vegetação e hidrologia), levantamento da geomorfologia, geologia e hidrogeologia locais, assim como estudos das características do solo local e das áreas de empréstimo de material de construção de barragens de terra. Este trabalho destina-se a analisar as características geológico-geotécnicas das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH por meio de técnicas de geoprocessamento. O Estado do Ceará é a área de estudo, onde foi realizada pesquisa bibliográfica das características do meio físico e dos estudos básicos das barragens selecionadas neste trabalho. A análise de características foi realizada através da seleção de 23 barragens construídas entre 1996 e 2008 através dos programas PROURB-RH e PROGERIRH. Utilizou-se como base os mapas da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, para os quais foi dado tratamento através do *software* ArcGIS®. Como resultado foram elaborados 13 mapas georeferenciados que contemplam a geologia local, pacote aluvionar, ensaio de campo nas fundações e caracterização do solo das áreas de empréstimo. Ainda que os estudos nos locais específicos previstos para a execução de obras não possam ser desprezados, o subsídio advindo deste trabalho propiciará a racionalização de novas investigações geológicas e geotécnicas, complementando os tradicionais e indispensáveis estudos de campo.

Palavras-chave: Barragem, Ceará, Geologia e Geotecnia.

## **ABSTRACT**

Among the actions performed to minimize the effects of drought in the Ceara state, the construction of dams have been that one of greatest impact, allied to complementary actions as the construction of canals and water stations. Among the essential researches for dam design, categorization of physical environment must be performed (location, climate, vegetation and hydrology), local geomorphology, geology and hydrogeology appraisals as well the study of characteristics of the local soils and the areas for loans of construction materials for earth dams. The objective of this work is to examine the geological-geotechnical characteristics of the dams of the PROURB-RH and PROGERIRH through geoprocessing techniques. The Ceara state is the area under study, in which a broad bibliographical research about the physical environment characteristics had been performed, as well as basic studies of dams within this project. The macro zoning was performed through the selection of 23 dams built between 1996 and 2008 by the programs PROURB-RH and PROGERIRH. Maps from the Companhia de Recursos Minerais-CPRM were used as a basis, to which were given treatment through the software ArcGIS®. As a result, 13 maps were georeferenced, and which considered local geology, sediment packages, field tests of the foundations, and soil specification of the loan area. Even though the predicted studies of the specific areas for the accomplishment of constructions can not be despised, the aid derived from this work will enable the rationalization of new geological and geotechnical investigations thus complementing the traditional and indispensable field studies.

Key words: Dam, Ceara, Geology and Geotechnics.

## 1 INTRODUÇÃO

Visando analisar as características geológico-geotécnicas das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH por meio de técnicas de geoprocessamento, este trabalho fundamenta-se em informações de estudos básicos realizados pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH) através de seus projetos para o desenvolvimento e gerenciamento dos recursos hídricos no Estado. A análise das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH, em suas características geológico-geotécnicas, tem como objetivo gerar um mapeamento de diversas características dos solos e conseqüentemente dar suporte ao planejamento e à tomada de decisões futuras, através de visualização desses dados compilados.

Durante a análise das características geológico-geotécnicas, pode tornar-se difícil a definição e delimitação das unidades básicas (unidades estas que condicionarão a divisão da região em áreas com heterogeneidade mínima ante os objetivos e à hierarquia do documento cartográfico). Para minimizar este problema, pode-se definir e delimitar as unidades básicas utilizando procedimentos manuais ou automáticos, sendo os recursos mais utilizados a sobreposição simples, matrizes, classes taxonômicas, árvore lógica, hierarquização, métodos estatísticos e métodos determinísticos.

Para a presente dissertação considera-se como base o Mapa Geológico do Estado do Ceará, disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Utiliza-se o método da superposição simples, por tratar-se de um método de grande aplicação desde a década de 1960, tendo sido confeccionados através desta técnica a maioria dos documentos utilizados para zoneamento.

A análise das características geológico-geotécnicas foi realizada com o intuito de apresentar através de uma representação gráfica, o resultado do levantamento de dados para a construção de 23 barragens no Estado do Ceará,

financiadas primeiramente pelo PROURB-RH<sup>1</sup> e posteriormente pelo PROGERIRH<sup>2</sup>.

### 1.1 Justificativa

A construção de barragens tem sido a principal medida de combate ao já conhecido e grave problema da seca no Estado do Ceará, de tal sorte que as primeiras ações visando à acumulação de água remontam às épocas do Império, com a construção de pequenos barramentos nas nascentes dos rios e escavação de poços.

A iniciativa da construção de grandes reservatórios surgiu após o envio das missões da Coroa ao Nordeste Brasileiro<sup>3</sup>, que visavam identificar possíveis soluções para a problemática da seca.

O Açude Cedro, localizado em Quixadá-Ce, com capacidade de acumulação de 125.694.000m<sup>3</sup>, é considerado a primeira grande obra hídrica executada no Ceará. As obras foram iniciadas em 1888 e após a ocorrência de secas nos anos de 1888/89, 1891, 1898, 1900 e 1902, a conclusão do açude passou a ser considerada uma obra de emergência (ARAÚJO, 1990). Embora superdimensionado em relação à sua bacia hidrográfica, o açude sangrou por 6 vezes desde a sua conclusão em 1906 – 1924, 1925, 1974, 1975, 1986 e 1989 (DIÁRIO DO NORDESTE, 2002).

---

<sup>1</sup> PROURB-RH: Projeto de Desenvolvimento Urbano e Gestão dos Recursos Hídricos. Através deste programa foram construídos os açudes Angicos, Barra Velha, Benguê, Cachoeira, Castro, Cauhipe, Flor do Campo, Gangorra, Itaúna, Jerimum, Monsenhor Tabosa, Muquém, Rosário, Sítios Novos, Souza e Ubaldinho.

<sup>2</sup> PROGERIRH: Projeto de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. Através deste programa foram construídos os açudes Aracoiaba, Carmina, Catu Cinzento, Faé, Jenipapeiro, Malcozinhado e Pesqueiro.

<sup>3</sup> Farias (2007) afirma que, do Rio de Janeiro, por ordem do imperador, enviou-se uma comissão chefiada pelo engenheiro Henrique de Beaurepaire visando estudar os meios mais eficazes de prevenir ou minorar os efeitos da seca.

No Estado do Ceará, pode-se destacar a construção de obras de grande porte, com investimentos do governo federal, a exemplo dos açudes Orós, Banabuiú, Araras, Pedra Branca e Pentecoste (SRH-CE, 2007a *apud* Bezerra, 2008), além de diversos açudes de pequeno e médio porte através do Programa de Açudagem em Cooperação<sup>4</sup>. Segundo Malveira *et al.* (2005), até 1979 o DNOCS<sup>5</sup> já havia construído cerca de 260 açudes entre públicos e em cooperação.

Ao longo de 20 anos, a partir da criação da SRH-CE – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, as ações do governo do Estado para minorar os efeitos da seca e garantir o atendimento da demanda hídrica pautaram-se na construção de reservatórios de médio e grande porte em pontos estratégicos do Estado, além da construção de adutoras e canais, visando criar uma “malha hídrica” no Estado.

A construção de uma barragem representa, além do atendimento das demandas hídricas, a possibilidade de desenvolvimento das cidades nas quais estão inseridas, seja pela garantia de fornecimento de água nos períodos de estiagem, seja pela sua função social, quando propicia condições de trabalho nas localidades nas quais estão inseridas e regiões adjacentes.

No entanto, faz-se necessária a realização de pesquisas que possibilitem a execução destas obras com maior economia e segurança, a exemplo de estudos de caracterização do meio físico: localização, clima, vegetação, hidrologia, conhecimentos de geomorfologia, geologia e hidrogeologia, assim como as características do solo local e das áreas de empréstimo de material.

---

<sup>4</sup> Programa de Açudagem em Cooperação – programa através do qual os açudes eram construídos pelo DNOCS e pelo proprietário das terras, com os custos de construção divididos igualmente entre as partes (BEZERRA, 2008).

<sup>5</sup> DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Criado através do Decreto-Lei 8.846, de 28 de dezembro de 1945 (DNOCS, 2008).

Neste contexto verifica-se a necessidade de conhecimento técnico aprofundado da localidade onde se pretenda realizar a construção de barragens. A elaboração de um levantamento geológico-geotécnico dos solos, com aplicação voltada para a construção de barragens, objetivo e resultado deste trabalho, poderá servir para a racionalização de novas investigações geológicas e geotécnicas dos solos do Estado do Ceará, sem, no entanto, desprezar a indispensável necessidade de estudos no local específico previsto para qualquer tipo de obra.

## **1.2 Objetivos da pesquisa**

O objetivo geral deste trabalho é analisar as características geológico-geotécnicas das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH por meio de técnicas de geoprocessamento, com aplicação para a construção de barragens no Estado do Ceará, que servirá de orientação, suporte ao planejamento e à tomada de decisões para futuros projetos de barragens no Estado.

Como objetivos específicos podem-se destacar os seguintes tópicos:

- Realização da caracterização dos aspectos do meio físico, localização, clima, vegetação, hidrologia, geomorfologia, geologia e hidrogeologia do Estado do Ceará.
- Disponibilidade das informações que contemplam as condições geológicas e geotécnicas das barragens construídas pelos programas PROURB-RH e PROGERIRH através de mapas e tabelas, tornando-as de fácil acesso aos interessados.

## **1.3 Organização da Dissertação**

A presente dissertação é constituída por seis capítulos, referências bibliográficas e anexos. O primeiro capítulo trata da justificativa, objetivos geral e específicos, assim como da organização do trabalho.

O segundo capítulo contém a revisão bibliográfica, discorrendo primeiramente sobre os mapeamentos geológicos, enquanto parte importante do processo de investigação geotécnica. É apresentada a fundamentação teórica sobre as fundações de barragens de terra e dos diversos sistemas de classificação dos solos, além de características relevantes dos solos como permeabilidade e resistência ao cisalhamento.

No terceiro capítulo são abordadas as características do meio físico da área de estudo, que descreve o clima, vegetação, hidrologia, geomorfologia, solo, geologia e hidrogeologia do Estado do Ceará.

O quarto capítulo apresenta a metodologia aplicada no trabalho, descrevendo os métodos e os materiais utilizados. Esta consiste da coleta de dados das barragens construídas através dos programas PROURB-RH e PROGERIRH, e do tratamento destas informações utilizando-se de mapas e tabelas para a apresentação dos resultados de forma clara e objetiva. Uma vez organizadas, as informações técnicas das barragens são comparadas com os dados disponibilizados pela CPRM, utilizando-se como ferramenta computacional o *software* ArcGIS<sup>®6</sup>.

O quinto capítulo mostra os resultados obtidos, onde se apresenta o produto final da pesquisa por meio de 13 mapas que compõem o mapeamento geológico-geotécnico, além da discussão dos resultados, através de gráficos e tabelas.

O sexto capítulo apresenta as conclusões e recomendações da pesquisa para futuros estudos complementares.

---

<sup>6</sup> O ArcGIS traduz-se em um Sistema de Informações Geográficas integradas, desenvolvido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, possui um avançado conjunto de módulos e aplicações integradas de geoprocessamento, que foi utilizado neste trabalho nos processos de criação e edição de bases de dados gráficos, edição de ambientes de tolerâncias e edição de atributos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As equipes de projeto e execução de obras de barragens devem utilizar ferramentas que possibilitem a execução das obras de modo eficiente e econômico, atendendo aos critérios técnicos exigidos para a execução de empreendimentos desta natureza. A equipe de trabalho deve ter características multidisciplinares, ou seja, deve ser formada por profissionais de diversas áreas que, trabalhando em conjunto, possam analisar o projeto e apresentar soluções eficazes, considerando os aspectos técnicos, jurídicos e sociais que deverão ser obedecidos.

Entre as ferramentas das quais a equipe de trabalho poderá se utilizar citam-se: mapas, levantamentos, fotos aéreas, visitas de campo/reconhecimento, coleta de amostras e realização de ensaios, uso de ferramentas computacionais para simulações sobre comportamento da barragem, pesquisa bibliográfica, entre outros.

Nas investigações geotécnicas, a escolha do método e da técnica empregados, assim como a amplitude das investigações, serão influenciados pelas dimensões e finalidades da obra. As características do terreno, a observação do comportamento de estruturas próximas e os dados disponíveis em investigações anteriores também deverão influenciar nesta escolha.

O conhecimento do comportamento e características do solo em áreas próximas a que se deseja projetar, em condições semelhantes à que se pretende construir, propicia valiosos subsídios para futuros projetos. Deste modo, os mapas geológicos disponíveis fornecem, para um estudo prévio, indicações úteis sobre a natureza dos terrenos.

O mapeamento geotécnico nunca deverá ser feito para substituir uma investigação específica ou mais detalhada. Ele é parte do processo de investigação geotécnica, sempre respeitando as limitações da escala. Os dados

devem ser levantados a partir de trabalhos já realizados, investigações de campo, ensaios laboratoriais e em campo (ZUQUETTE *et al.*, 2004).

O mapeamento realizado tem como base a coleta de informações referentes à localização, geologia local, pacote aluvionar<sup>7</sup>, ensaios de campo e caracterização das áreas de empréstimo das barragens do Estado do Ceará, tendo sido selecionadas aquelas cujos projetos e estudos preliminares se apresentavam de forma mais completa. Esses critérios foram atendidos apenas pelas barragens construídas através dos programas PROURB-RH e PROGERIRH.

A disponibilidade de informações das 23 barragens, que se encontram concluídas e em operação, foram responsáveis pela escolha das mesmas.

O PROURB-RH, criado em 1993, foi o primeiro grande programa de recursos hídricos do Estado do Ceará. Tendo como parceiro o Banco Mundial, o governo cearense dispôs de um valor total de investimentos de R\$ 10.600.000,00<sup>8</sup> (CAGECE, 2007). O projeto estava vinculado à Secretaria das Cidades e visou à ação nas áreas de recursos hídricos, buscando garantir a oferta e a regularização do suprimento de água para os centros urbanos do Ceará, principalmente nas áreas caracterizadas como "vazios hídricos", ou seja, subáreas do semi-árido com déficits permanentes de água, atuais ou potenciais (ALBUQUERQUE, 2005), além de promover o fortalecimento institucional e a consolidação do sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos.

Na Figura 2.1 estão destacados os municípios atendidos pelo PROURB-RH.

---

<sup>7</sup> Pacote aluvionar é a sucessão de camadas resultado do transporte de sedimento de um rio com uma ampla gama granulométrica durante o período de chuvas e uma estreita faixa de tamanho de partículas, na época das secas. Cada camada representa uma fase de deposição e, conseqüentemente, apresenta espessura, continuidade lateral, mineralogia e granulometria particulares.

<sup>8</sup> Valores equivalentes a US\$5984305.31. Taxa em 31/12/2008: 1,7713 REAL - BRASIL = 1 DOLAR - EUA (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2008).



O PROGERIRH foi criado pelo Governo do Estado do Ceará em 1997, com o intuito de ampliar a infra-estrutura hídrica e fornecer um aparato técnico, operacional e institucional no gerenciamento dos recursos hídricos, capaz de dar suporte não só ao abastecimento humano, mas também ao desenvolvimento econômico, lidando com o problema da escassez de recursos hídricos através de medidas estruturais e de ações que visaram fortalecer o sistema de gestão, buscando criar uma nova cultura e consolidar um novo modelo para tratar os recursos hídricos de forma integrada, tecnicamente planejada, democrática e participativa (SRH-CE, 2007b).

O PROGERIRH dispôs de recursos da ordem de US\$247,27 milhões, sendo US\$136,00 milhões oriundos de empréstimo do Banco Mundial e US\$111,27 milhões do Governo do Estado, a título de contrapartida. O BNDES financiou parte da contrapartida, no valor de R\$126,00 milhões<sup>9</sup> (SRH-CE, 2007b).

## 2.1 Barragens

As barragens de terra e enrocamento têm sido construídas desde remota antiguidade, a exemplo da barragem *Saad el Kafara* construída 3.000 anos a.C. próxima à cidade do Cairo no Egito. Mesmo assim, apenas no final do século XIX as barragens de terra passaram a ter a configuração semelhante às construídas atualmente (SANDRONI, 1989, *apud* GUSMÃO *et al.*, 2005).

Em 1902 foi fundado nos Estados Unidos, o *U. S. Bureau of Reclamation* (USBR), a quem se atribui a construção das maiores barragens norte-americanas. Foram então construídas barragens de terra, de alvenaria e de concreto numa ação que se constituiu na maior e mais notável experiência no campo de Engenharia de Barragens.

Nos últimos anos, exemplos de arrojo da Engenharia de Barragens, têm demonstrado a acurácia das teorias, fundamentadas na Matemática, nas

---

<sup>9</sup> Valores equivalentes a US\$65580596.47. Taxa em 01/10/2008: 1,9213 REAL - BRASIL = 1 DOLAR - EUA (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2008).

Mecânicas dos Solos e dos Fluidos, disciplinas que se constituem tripé fundamental sobre o qual se assenta a tecnologia do campo de barragens.

As finalidades que podem ser atribuídas a uma barragem são diversas, dentre as quais Carvalho (1982) destaca:

- ✓ Abastecimento humano e animal: esta é sem dúvida a principal finalidade das barragens feitas no estado do Ceará, tal finalidade traduz, por si só, toda a importância de que se reveste uma barragem. O objetivo de uma barragem para abastecimento d'água far-se-á com um elemento previamente conhecido: a capacidade de acumulação para atender a demanda prevista, inferida de ditames probabilísticos, a partir de cálculos de incrementos da população.
- ✓ Abastecimento Industrial: outra finalidade importante a qual se pode prestar uma barragem é a do suprimento d'água para a indústria. Esta finalidade, aliada aos fins usuais, pode viabilizar economicamente a construção de uma barragem.
- ✓ Irrigação: Esta finalidade provavelmente tenha sido uma das primeiras pela qual se construíram barragens. Após a necessidade do líquido para beber é a alimentação o outro termo do binômio indispensável à sobrevivência humana.
- ✓ Energia Elétrica: no caso de aproveitamento hidrelétrico, as barragens devem possuir altura compatível com as disponibilidades do sistema barrado além de um volume de água regular e elevado. Devido a estas características no estado do Ceará não se tem barragens construídas com esta finalidade principal.
- ✓ Piscicultura: como fonte de renda e alimentação, a piscicultura é uma das importantes finalidades a que se destina um lago artificial criado pela

construção de uma barragem. Esta atividade, por vezes, transforma por inteiro o modo de vida de milhares de pessoas que vivem em torno da barragem, mudando seus hábitos, trazendo-lhes prosperidade e bem estar.

- ✓ Controle de Cheias: como salvaguarda a periódicas inundações de cidades e/ou em campos causados pelas cheias dos rios, as barragens podem ter como uma de suas finalidades, o controle de cheias. Neste caso, como não poderia ser diferente, torna-se fator primordial o conhecimento do comportamento hidrológico do rio ou sistema de rios barrados. Dentre outros aspectos hidrológicos, o estudo das cheias, de sua frequência e deslocamento, são fatores que vão ditar a capacidade da barragem projetada para esta finalidade.
- ✓ Regularização de rios: esta é outra finalidade importante a que se destinam as barragens, sempre aliada a outras, tais como irrigação, navegação, abastecimento d'água etc. Como exemplo de barragem utilizada para a regularização de curso hídrico, no estado do Ceará, pode-se citar a barragem do Castanhão que tornou perene o rio Jaguaribe, o qual, anteriormente a construção da barragem, era conhecido como "o maior rio seco do mundo".
- ✓ Navegação: uma das finalidades porque se constroem barragens é a de propiciar a navegação nos rios. As corredeiras que costumam existir em cursos d'água, como consequência de formação geológica resistentes à erosão, são motivos para interrupção de trechos navegáveis. As cachoeiras interrompem o funcionamento de um dos meios de transporte mais econômicos existentes. A construção de barragem, com formação de lagos cujas cotas são bem mais elevadas que as anteriormente existentes na superfície do rio, eliminam tal empecilho.

- ✓ Recreação: dentre as muitas finalidades já citadas, as barragens se apresentam como parte de atração turística. Notadamente nas cidades afastadas ou desprovidas de mar, são as barragens os logradouros mais procurados pela população para seu lazer, principalmente aos fins de semana.

A definição do tipo de barragem a ser adotado dependerá das características topográficas, hidrológicas, geológico-geotécnicas do local da obra, forma do boqueirão, materiais disponíveis para construção, regime pluviométrico da região, características geomecânicas da fundação, magnitude das cheias da bacia hidrográfica, entre outros.

Gusmão *et al.* (2005) afirma que neste contexto, a classificação do tipo de barragem é função do material que predomina na estrutura de barramento. Define-se barragem de terra como uma estrutura de barramento construída principalmente com solo compactado, com materiais arenosos e pétreos nos elementos de drenagem e proteção, podendo ser predominantemente homogênea ou composta com tipos diferentes de zonas.

Entre os fatores determinantes para a construção de barragens de terra estão a disponibilidade e a localização dos materiais naturais de construção. A distância de transporte entre o local das obras e os locais de empréstimo de materiais é fator de custo importante, compreendendo as despesas com equipamentos e manutenção de acessos, conforme afirma Gusmão *et al.* (2005):

Quanto maior a distância, maior a probabilidade de necessidade de obras d'arte nos caminhos de serviços. Estes afastamentos devem ser considerados não só horizontalmente, pois jazidas em locais elevados requerem acessos longos, devido às restrições das rampas que devem ser condizentes com os equipamentos e cargas a serem transportados.

Não há restrições quanto ao tipo de material para execução de barragens de terra, exceto para os de composição orgânica ou excessivamente gráudos. Os atuais conhecimentos geotécnicos e técnicas construtivas permitem que se defina o melhor arranjo das zonas de materiais constituintes do maciço, de acordo com as propriedades dos materiais, dando prioridade aos materiais mais

próximos do local das obras (GUSMÃO *et al.*, 2005). Deve ser realizada uma caracterização detalhada dos materiais da fundação da barragem e do maciço, visando obter informações precisas acerca da permeabilidade, da resistência e compressibilidade.

As barragens, como qualquer estrutura, estão submetidas a uma série de esforços, onde o equilíbrio depende de sua estabilidade. Dentre os esforços para os quais as barragens estão submetidas, podemos destacar o empuxo decorrente da ação da água e o peso próprio da barragem. No entanto, além destes, surgem outros esforços que decorrem, por exemplo: das variações de temperatura (que acarretam retração ou dilatação), da ação dos solos da fundação, de abalos sísmicos, da ação dos ventos, da ação de sedimentos acumulados nos reservatórios, entre outros.

As fundações das barragens de terra apresentam os menores índices de restrições. Gusmão *et al.* (2005) afirma que, considerando-se uma mesma altura para os três tipos de barragens — barragens de terra, enrocamento e concreto — as menores solicitações ocorrerão para as barragens de terra, sendo as maiores solicitações aquelas geradas pela carga de uma barragem de concreto.

Nas barragens de enrocamento, há que se considerar o recalque diferencial resultante da diferença de rigidez entre a zona impermeável e o enrocamento.

Antes do início do projeto deve ser catalogado, como um dos trabalhos preliminares, o estudo das jazidas, visando avaliar as quantidades disponíveis e a quantidade dos materiais. Estes materiais, em função de sua existência e da distância à obra, influenciarão na escolha do tipo de barragem a projetar.

## 2.2 Fundações de Barragens de Terra.

O termo “fundação de uma barragem” compreende todo o solo que fica subjacente à barragem. Isto implica que tanto o vale quanto as ombreiras do boqueirão a ser barrado e que ficarão sob o maciço, constituem a fundação da barragem.

Os tipos de solo, sua constituição e os aspectos topográficos e geológicos podem ser os mais diversos. Contudo é sempre possível construir-se uma barragem de terra. Daí porque as características de uma fundação podem ter maior ou menor influência no projeto da barragem (CARVALHO, 1984).

Conclui-se que, para as barragens de terra, o conhecimento dos materiais que compõem a fundação é absolutamente indispensável.

Os pré-requisitos que se devem impor à fundação de uma barragem de terra são:

- Suporte à ação do maciço sob quaisquer condições de carga e saturação;
- Resistência à ação das forças de percolação excessivas, bem como às perigosas descargas freáticas.

## 2.3 Classificação dos Solos.

O sistema de classificação dos solos surgiu, entre outros motivos, pela necessidade de agrupamento dos mesmos em conjuntos distintos. Tanto a diversidade quanto a enorme diferença de comportamento apresentada pelos solos perante as solicitações de interesse da engenharia levaram a que eles fossem naturalmente agrupados em conjuntos distintos (HACHICH *et al.*, 1998).

Hachich *et al.* (1998) afirma ainda que o objetivo da classificação dos solos, sob o ponto de vista de engenharia, é o de poder estimar o provável

comportamento do solo, ou pelo menos, o de orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema.

A caracterização dos solos e rochas sob o aspecto geotécnico, imprescindível para sua utilização na construção das barragens de terra, se dá através de uma série de ensaios realizados em campo e em laboratório. Estes últimos se processam com a utilização de amostras de solos convenientemente coletadas. Dentre os ensaios de solos usualmente realizados têm-se granulometria, limites físicos de Atterberg, densidade de campo, umidade, permeabilidade, proctor, resistência à penetração, adensamento, cisalhamento.

Segundo Carvalho (1982), os materiais que entram na execução das barragens de terra carecem de estudos de modo a se conhecer as suas características geotécnicas e, conseqüentemente o grau de utilização que se possa emprestar. Entre estes materiais, podem ser citados as areias, as rochas e os concretos.

As areias devem ser analisadas quanto à pureza, granulometria e compacidade. As rochas devem ser submetidas a ensaios que caracterizem a resistência da mesma às intempéries, massa específica, abrasão, entre outros. Considerando os concretos, estes devem ser analisados quanto à capacidade de suporte de tensões e deformações.

### 2.3.1 Sistemas de Classificação.

Entre os sistemas de classificação existentes, o mais empregado em barragens é o chamado Sistema Unificado de Classificação dos Solos.

A forma original desse sistema foi proposta por Casagrande em 1942 para uso nos trabalhos de construção de aeroportos sob responsabilidade do *Army Corps of Engineers* durante a Segunda Guerra Mundial. Em cooperação com o *U. S. Bureau of Reclamation*, esse sistema foi revisto em 1952 (DAS, 2007).

Esse sistema classifica os solos em duas amplas categorias:

- Solos de grãos grossos que têm a natureza de pedregulho e de areia com menos de 50% passando pela peneira No. 200.
- Solos de grãos finos são constituídos de 50% ou mais passando pela peneira No. 200

A Tabela 2.1 resume este Sistema de Classificação de Solos (com base no material que passa na peneira de 76,2 mm).

**Tabela 2.1** – Sistema Unificado de Classificação dos Solos.

<b>Classificação Geral</b>	<b>Tipos Principais</b>	<b>Símbolo de grupo</b>
SOLOS GROSSOS (Mais que 50% de material retido na peneira No. 200)	Pedregulhos	GW, GP, GM e GC
	Areias	SW, SP, SM e SC
SOLOS FINOS (50% ou mais passam na peneira No. 200)	Siltes e Argilas	Baixa compressibilidade (LL < 50) ML, CL e OL
		Alta compressibilidade (LL > 50) MH, CH e OH

Fonte: Adaptado de Das (2007).

#### **2.4 Permeabilidade dos Solos.**

Os solos são permeáveis em função da existência de vazios interconectados pelos quais a água pode fluir de pontos de alta energia para pontos de baixa energia. O estudo do fluxo de água através do solo permeável é importante na mecânica dos solos. É necessário para estimar a quantidade de fluxo subterrâneo sob várias condições hidráulicas, para investigar problemas envolvendo o bombeamento de água para construção subterrânea e para fazer análises de estabilidade de barragens de terra e estruturas de contenção de terra sujeitas a forças de percolação (DAS, 2007).

O coeficiente de permeabilidade dos solos depende de fatores tais como: viscosidade do fluido, distribuição de tamanho dos poros, distribuição granulométrica, índices de vazios, rugosidade das partículas minerais e grau de saturação do solo.

## 2.5 Resistência ao Cisalhamento do Solo.

A resistência ao cisalhamento de uma massa de solo é a resistência interna por área unitária que a massa de solo pode oferecer para resistir a rupturas e a deslizamentos ao longo de qualquer plano no seu interior. Deve-se entender a natureza da resistência ao cisalhamento para analisar os problemas de estabilidade do solo, tais como capacidade de carga, estabilidade de taludes e pressão lateral em estruturas de contenção de terra (DAS, 2007).

Há dois parâmetros a serem observados na determinação da resistência de solos: coesão ( $c$ ) e o ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) entre as partículas.

Em um solo saturado, a tensão normal total em um ponto é a soma da tensão efetiva e da poropressão.

A tensão efetiva é suportada pelos sólidos do solo, onde se tem coesão ( $c'$ ) e o ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ), com base na tensão efetiva. O ângulo de atrito interno ( $\phi'$ ) é às vezes chamado de ângulo de atrito drenado.

Segundo Das (2007) os valores típicos de  $\phi$  para areias e siltes são dados na Tabela 2.2.

A resistência a cisalhamento de um solo é, usualmente, determinada no laboratório por ensaios de cisalhamento direto; triaxial; cisalhamento simples; triaxial de deformação plana; e cisalhamento anular ou *ring shear*.

**Tabela 2.2** – Valores típicos do ângulo de atrito para areias e siltes.

Tipos de solo	$\phi$ (graus)
Areia: Grãos arredondados	
Fofa	27 – 30
Média	30 – 35
Compacta	35 – 38
Areia: Grãos angulares	
Fofa	30 – 35
Média	35 – 40
Compacta	40 – 45
Pedregulho com alguma areia	34 – 48
Silte	26 – 35

Fonte: Adaptado de Das (2007).

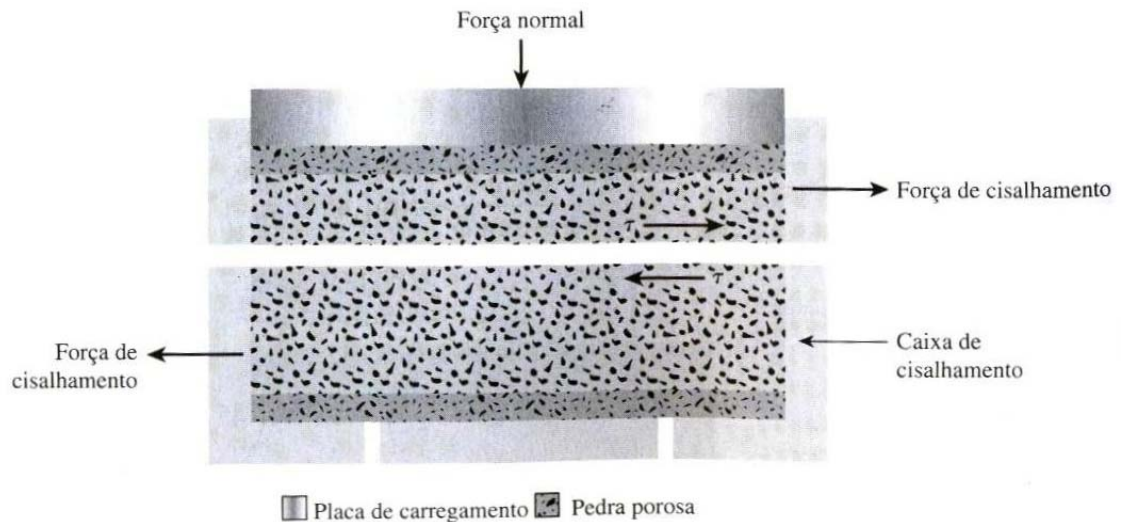
O ensaio de cisalhamento direto e o ensaio triaxial são as duas técnicas normalmente utilizadas para a determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento.

### 2.5.1 Ensaio de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto é a mais antiga e mais simples forma de arranjo para o ensaio de cisalhamento. Um diagrama do aparelho de ensaio de cisalhamento direto é mostrado na Figura 2.2.

O equipamento de ensaio consiste em uma caixa de cisalhamento de metal na qual o corpo de prova de solo é colocado. Os corpos de prova de solo podem ser quadrados ou circulares em planta. O tamanho dos corpos de prova geralmente utilizados é cerca de 51 mm x 51 mm ou 102 mm x 102 mm (2 in x 2 in ou 4 in x 4 in) de extensão e cerca de 25 mm (1 in) de altura. A caixa é dividida horizontalmente em duas metades. A força normal no corpo de prova é aplicada a

partir do topo da caixa de cisalhamento. A tensão normal nos corpos de prova pode ser de até  $1.050 \text{ kN/m}^2$ . ( $150 \text{ lb/in}^2$ ). A força de cisalhamento é aplicada movendo-se uma metade da caixa em relação à outra para provocar a ruptura no corpo de prova de solo (DAS, 2007).



Fonte: Das (2007).

**Figura 2.2** – Diagrama de arranjo de ensaios de cisalhamento direto.

Dependendo do equipamento, o ensaio de cisalhamento pode ser de tensão controlada ou de deformação controlada. Nos ensaios de tensão controlada, a força de cisalhamento é aplicada em incrementos iguais até que o corpo de prova sofra ruptura, que ocorre ao longo do plano de divisão da caixa de cisalhamento. Após a aplicação de cada incremento de carga, o deslocamento de cisalhamento da metade superior da caixa é medido por um extensômetro horizontal. A variação na altura do corpo de prova (e assim a variação do volume do corpo de prova) durante o ensaio pode ser obtida das leituras do extensômetro que mede o movimento vertical da placa de carregamento superior (DAS, 2007).

Nos ensaios de deformação controlada, uma taxa constante de deslocamento cisalhante é aplicada a uma metade da caixa por um motor que atua por meio de engrenagens. A taxa constante de deslocamento cisalhante é medida por um extensômetro horizontal

### 3 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO

A caracterização do meio físico é fundamental para um adequado conhecimento do território, proporcionando um embasamento que guiará na identificação das feições fisiográficas que influenciam diretamente as características geológico-geotécnicas dos solos do Estado do Ceará. Foram contemplados aspectos de localização, clima, vegetação, hidrologia, geomorfologia, geologia e hidrogeologia.

#### 3.1 Localização

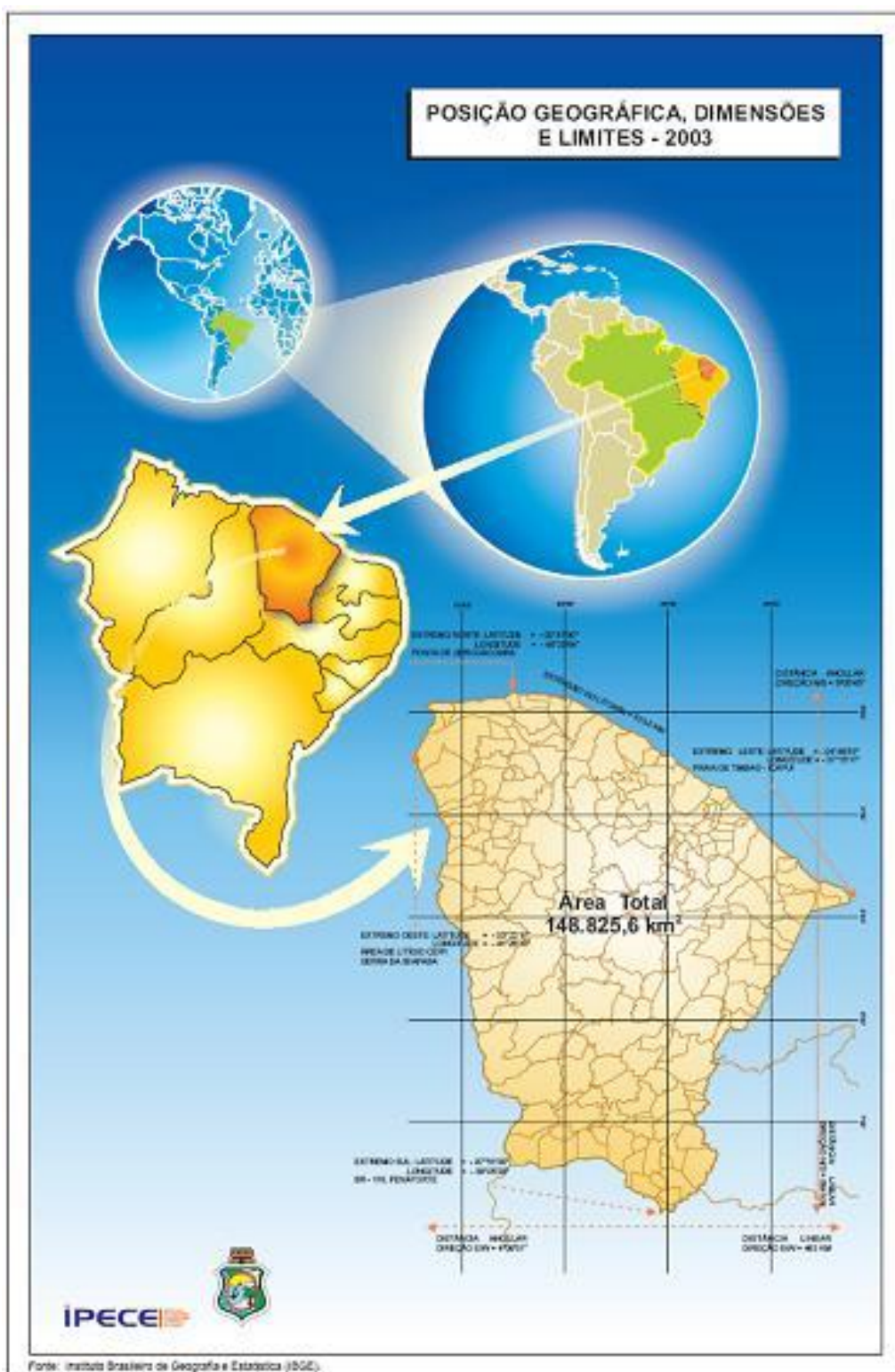
O local escolhido para a realização do levantamento geológico-geotécnico abrange uma área de 148.825,6km<sup>2</sup> (IBGE, 2002) que corresponde ao Estado do Ceará, compreendida entre as coordenadas mostradas na Tabela 3.1, a seguir:

**Tabela 3.1** – Coordenada dos pontos limites do Estado do Ceará.

<b>Extremo</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Localidade</b>
Norte	- 02° 47' 00"	- 40° 29' 54"	Ponta de Jericoacoara
Sul	- 07° 51' 30"	- 39° 05' 28"	BR-116, Penaforte
Leste	- 04° 49' 53"	- 37° 15' 11"	Praia de Timbaú, Icapuí
Oeste	- 03° 22' 11"	- 41° 26' 10"	Serra da Ibiapaba

Fonte: adaptado de IPECE (2008).

Localizado abaixo da linha do Equador, ao norte da região Nordeste do Brasil, como mostra a Figura 3.1, o Ceará tem como fronteiras o Oceano Atlântico a norte e nordeste, o Rio Grande do Norte e a Paraíba a leste, Pernambuco a sul e o Piauí a oeste.



Fonte: IPECE (2008).

**Figura 3.1** – Localização do Estado do Ceará.

O Estado do Ceará possui distâncias lineares Norte/Sul de 564km e Leste/Oeste de 463km, além de ter uma extensão litoral de 573km. Sua área corresponde a 9,57% da área do Nordeste; e 1,74% da superfície do Brasil. Assim, em termos de extensão, ocupa a 17ª posição dentre os estados brasileiros e a 4ª posição em relação aos estados do Nordeste.

Em termos institucionais e políticos, o Estado está dividido em 184 municípios e 806 distritos; 8 Microrregiões de Planejamento e 20 Regiões Administrativas (IPECE, 2008).

A população total do Estado do Ceará é de 8.183.880 habitantes (IBGE, 2007) e densidade demográfica é de 54,99 habitantes por km<sup>2</sup>.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Estado do Ceará é de 0,700 (PNUD, 2000). Sendo que a metodologia de cálculo do IDH envolve índices de longevidade, educação e renda, que variam entre 0 (pior) e 1 (melhor), e a combinação destes índices em um indicador síntese. Quanto mais próximo de 1 o valor deste indicador, maior será o nível de desenvolvimento humano da região. O Ceará ocupa a 20ª colocação dentre os estados brasileiros.

Em termos físicos observa-se ainda que o Ceará tem 93% de seu território encravado na região do semi-árido nordestino, o que o torna vulnerável à ocorrência de seca e à irregularidade e escassez de precipitações pluviométricas.

Ressalte-se que o Ceará possui 3.157.923,34ha de área de Unidades de Conservação, administradas de acordo com a Tabela 3.2, mostrada a seguir.

**Tabela 3.2** – Área de unidades de conservação no Estado do Ceará.

Administração	Área (ha)
Federal	3.047.835,36
Estadual <sup>10</sup>	87.402,01
Municipal <sup>11</sup>	1.2481,05
Particular	1.0204,92

Fonte: SEMACE (2008).

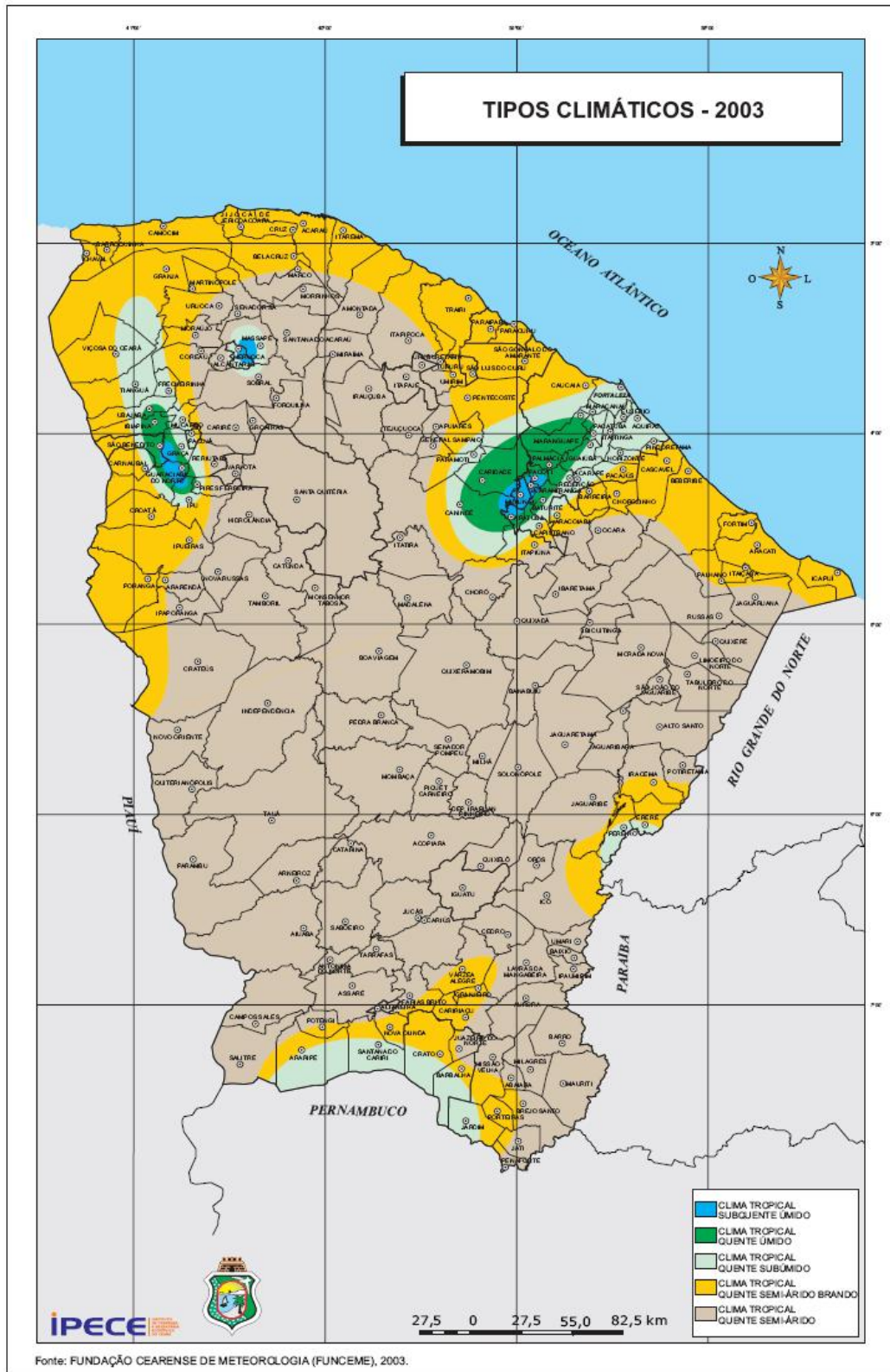
### 3.2 Clima

O clima predominante no Estado do Ceará é o clima Tropical Quente Semi-Árido, como pode-se observar na Figura 3.2, ocorrendo em uma extensão de 101.001,00km<sup>2</sup>, o que representa 67,87% da área do Estado. Referida área engloba o território de 98 diferentes municípios. Ou seja, 53,26% dos municípios cearenses encontram-se sob a influência do clima acima citado (IPECE, 2006).

Nas áreas serranas, onde impera o clima tropical semi-úmido e, nas altitudes elevadas, tropical úmido, as temperaturas são bem mais baixas, com média de 20°C a 24°C. Surgem aí vegetações de cerrado e floresta tropical, bem como as pluviosidades são mais altas, superando os 1.000mm anuais, e a umidade se eleva bastante. A maior amenidade do clima dessas regiões é verificada mesmo nos sopés das serras, como é o caso da cidade do Crato. As temperaturas são mais frias em julho, quando atingem freqüentemente menos de 15°C durante a noite. No geral, no entanto, as temperaturas variam entre aproximadamente 17°C e 30°C.

<sup>10</sup> Não está incluída no somatório, devido à falta de informação, a unidade de conservação do Monumento Natural os Monólitos de Quixadá.

<sup>11</sup> Não estão inclusos no somatório, devido à falta de informação, as seguintes unidades de conservação: Área de Proteção Ambiental de Maranguape, Parque Ecológico de Acaraú e Área de Proteção Ambiental da Lagoa da Bastiana.



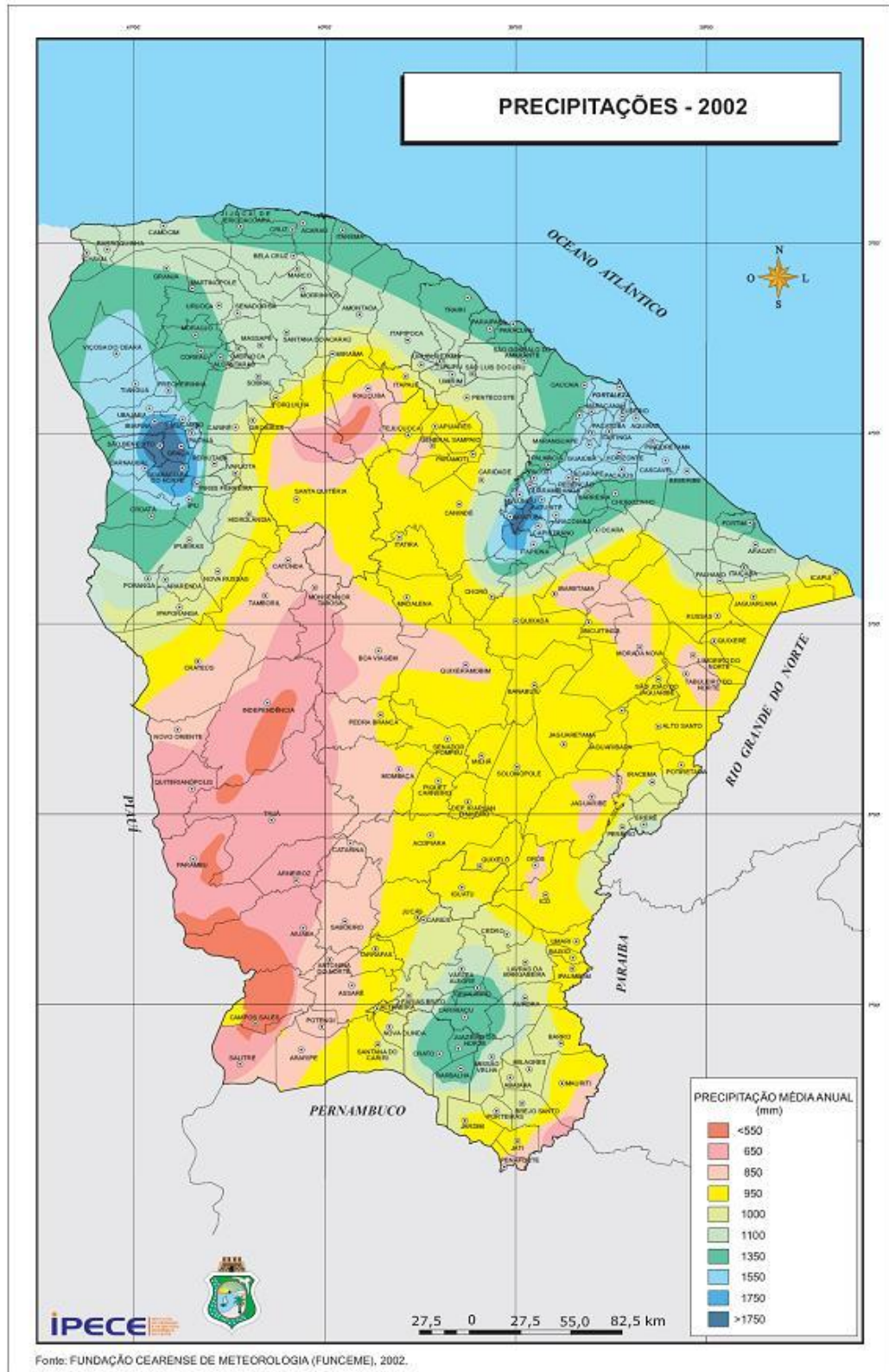
Fonte: IPECE (2006).

**Figura 3.2** – Tipos climáticos do Estado do Ceará.

No litoral, o clima é tropical semi-úmido, com pluviosidades normalmente entre 1.000mm e 1.300mm. As temperaturas são bastante elevadas, com médias de 26°C a 27°C, mas a amplitude térmica é bastante pequena. No geral, as temperaturas variam, durante o dia, de mínimas de 23°C até máximas de 31°C. É raro as temperaturas ultrapassarem os 35°C na região litorânea, ao contrário do que ocorre no sertão cearense.

A pluviosidade que, em trechos da região dos Inhamuns, podem ser menor que 500mm, mas também podem se aproximar de 1.000mm em outras áreas. O que caracteriza o clima da região é a irregularidade do período chuvoso, que se concentra em 3 a 4 meses (normalmente fevereiro a junho), podendo atingir elevadas médias de pluviosidade, mas em compensação escasseia quase que por completo nos meses posteriores. As médias térmicas são elevadas, variando entre 26°C e 29°C, e a amplitude térmica na região semi-árida é relativamente grande, com dias muito quentes e noites amenas. Em todo o Estado, os dias mais frios ocorrem geralmente em julho e os mais quentes, entre os meses de outubro a janeiro.

Na Figura 3.3 está ilustrada a precipitação média anual do Estado do Ceará.



Fonte: IPECE (2006).

**Figura 3.3** – Precipitação média anual do Estado do Ceará.

### 3.3 Vegetação

A vegetação quase sempre reflete o tipo de solo e seu teor de umidade. A maior ou menor concentração da vegetação traduz a textura do solo, bem como a rocha que se sobpõe ao mesmo.

No Ceará a vegetação predominante é a caatinga, que ocupa 45,91% de todo o território cearense. A caatinga é uma vegetação típica do semi-árido, muito embora existam outros tipos de vegetação, a exemplo das matas úmidas, matas secas, a mata ciliar, a vegetação de tabuleiros e o complexo vegetacional da zona litorânea (IPECE, 2006).

Pode-se observar duas variedades de caatinga que recobrem todo o sertão cearense: a hipoxerófila e a hiperxerófila.

A caatinga hipoxerófila (Figura 3.4) é típica das regiões de clima menos rigoroso, como baixada litorânea e sopé da Ibiapaba. Tem espécies de grande porte e densidade, ocupando 28.734,80km<sup>2</sup> do Estado (IPECE, 2006).



Fonte: Embrapa Solos (2008).

**Figura 3.4** – Vegetação de caatinga hipoxerófila.

A caatinga hiperxerófila é característica das regiões mais áridas, tratando-se, portanto de uma vegetação rala e baixa com exemplares espinhosos, como algaroba (Figura 3.5) e pau-branco, e cactáceos como xique-xique, mandacaru (Figura 3.6) entre outros. Esta variedade ocupa uma área de 81.546,90km<sup>2</sup> do território cearense (IPECE, 2006).



Fonte: Embrapa (2008).

**Figura 3.5** – Algaroba.



Fonte: Uol Educação (2008).

**Figura 3.6** – Mandacaru

Além da caatinga, o cerrado e os carnaubais compõem a paisagem do cenário cearense.

O cerrado é formado por árvores baixas e retorcidas, destacadas em meio a gramíneas recobrendo o topo das chapadas, como mostra a Figura 3.7.



Fonte: Pequi – Pesquisa e Conservação do Cerrado (2008).

**Figura 3.7** – Cerrado

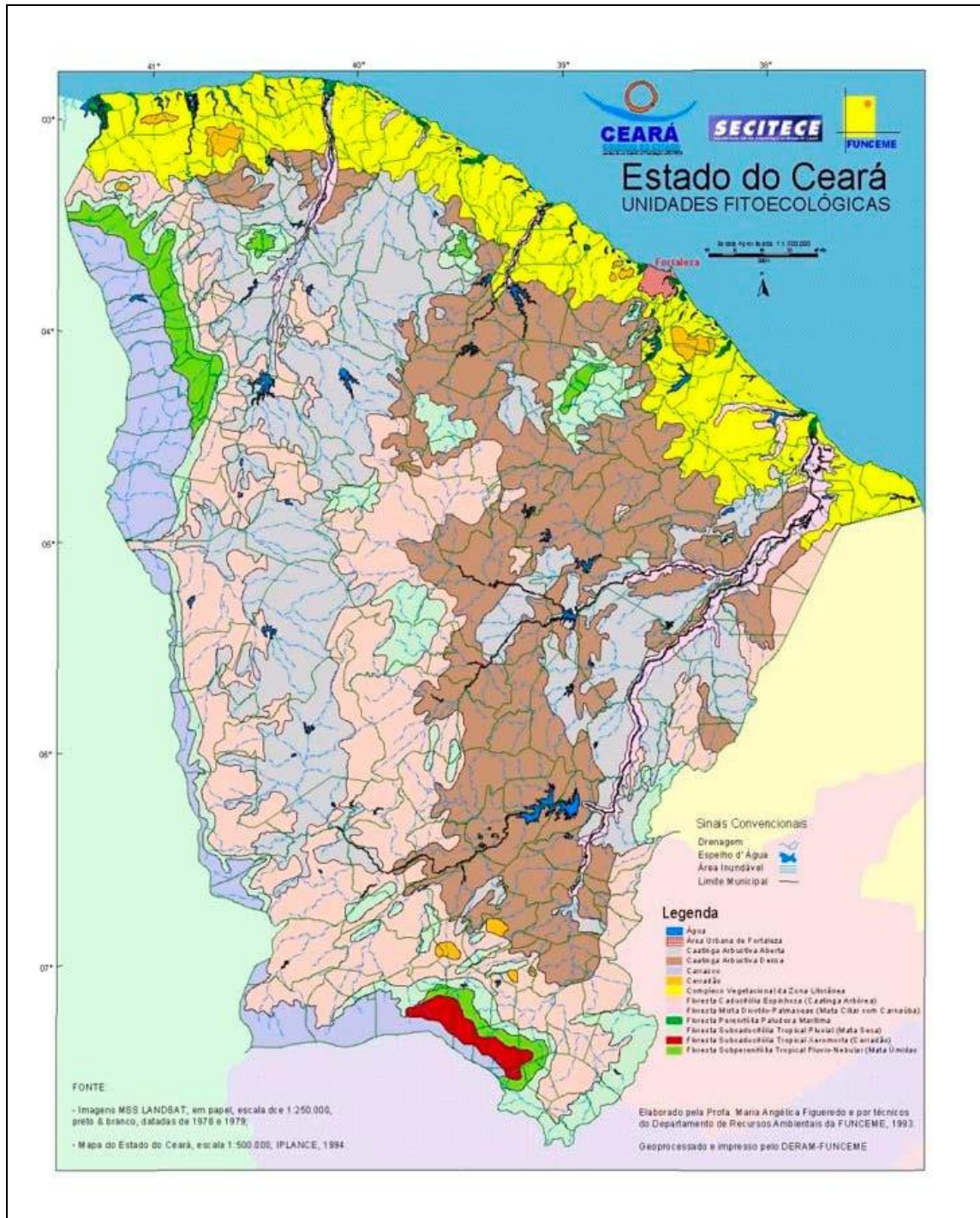
Os carnaubais são encontrados principalmente nas várzeas dos rios, em especial próximo dos rios Jaguaribe, Acaraú e Coreaú. Na Figura 3.8 está ilustrada a carnaubeira (*Copernicia Prunifera*) que é uma palmeira típica do nordeste brasileiro, predominante no Estado do Ceará.



Fonte: SEMACE (2008).

**Figura 3.8** – Carnaubeira (árvore símbolo do Estado do Ceará).

Na Figura 3.9 está ilustrada a vegetação do Estado do Ceará.



Fonte: FUNCEME (2008).

**Figura 3.9** – Vegetação do Estado do Ceará.

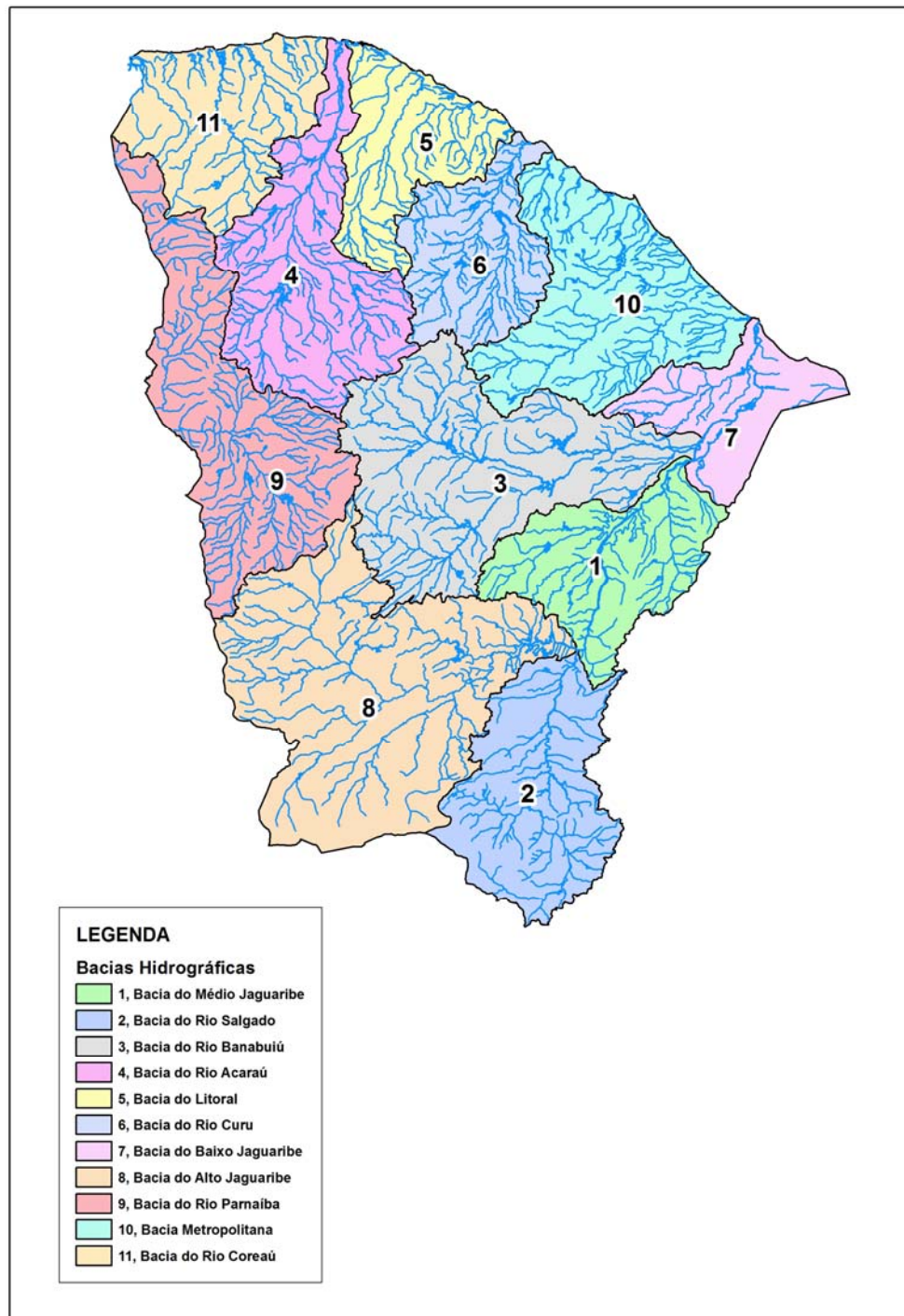
### 3.4 Hidrologia

Dos estudos hidrológicos dependerá a definição da obra, sob os aspectos hidráulicos, que segundo Carvalho (1982) se comporão fundamentalmente de 3 (três) grandes itens:

- Coletar ou recolher os dados existentes e interpretá-los;
- Elaborar estudos, com vistas à obtenção de novos dados, ou à verificação e/ou correção dos dados recolhidos;
- Desenvolver estudos metodológicos, estatístico-probabilísticos, com vistas à definição de leis que regem a participação dos fenômenos hidrológicos no projeto.

O Estado do Ceará, segundo o Plano Estadual dos Recursos Hídricos, está dividido em 11 Bacias Hidrográficas como mostra a Figura 3.10 que são:

- 01 – Bacia do Médio Jaguaribe;
- 02 – Bacia do Rio Salgado;
- 03 – Bacia do Rio Banabuiú;
- 04 – Bacia do Rio Acaraú;
- 05 – Bacia do Litoral;
- 06 – Bacia do Rio Curu;
- 07 – Bacia do Baixo Jaguaribe;
- 08 – Bacia do Alto Jaguaribe;
- 09 – Bacia do Rio Parnaíba;
- 10 – Bacia Metropolitana;
- 11 – Bacia do Rio Coreaú;



Fonte: CPRM (2006).

**Figura 3.10** – Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.

### 3.4.1 Bacia do Médio Jaguaribe

Com uma área de 10.509km<sup>2</sup>, essa sub-bacia hidrográfica é, dentre as do Rio Jaguaribe, a que apresenta melhor nível de atendimento às populações urbanas, graças à perenização pelas águas dos Açudes Orós e Castanhão.

O Rio Jaguaribe tem como principais afluentes nessa região o Rio Figueiredo e o Riacho do Sangue.

A capacidade total de acumulação de águas superficiais atinge 7,5 bilhões de m<sup>3</sup>, em 1.211 açudes. O armazenamento em reservatórios de grande porte é da ordem de 94% do volume potencial.

Seus principais reservatórios são: Castanhão, com capacidade de até 6.700hm<sup>3</sup>; Riacho do Sangue, com capacidade de 61,42hm<sup>3</sup>; e, Joaquim Távora, com 23,66hm<sup>3</sup>.

O açude Castanhão tem a capacidade para acumular até 6,7 bilhões de m<sup>3</sup> (cota 106m), volume destinado ao controle de cheias. Para regularização de vazões seu volume é de 4,5 bilhões de m<sup>3</sup> (cota 100m).

A disponibilidade anual de água subterrânea totaliza 0,6hm<sup>3</sup>, a menor dentre as regiões hidrográficas do Jaguaribe. A proposta do PLANERH é de que sejam perfurados mais 264 poços, mobilizando dos aquíferos um volume de 5,6hm<sup>3</sup>/ano.

Atualmente está em construção o maior eixo de transposição do Estado do Ceará, o Canal da Integração com 255km de extensão, que irá transportar águas acumuladas pelo Açude Castanhão, da bacia do Médio Jaguaribe, para outras bacias (CBH, 2006).

### 3.4.2 Bacia do Salgado

A região hidrográfica do Salgado, drenada pelo rio homônimo, ocupa uma área de 12.865km<sup>2</sup>. Abrange grande parcela da região sul do Estado, incluindo o Cariri. O rio Salgado tem como principais afluentes o rio Batateiras e o riacho dos Porcos.

A bacia apresenta uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 469,40hm<sup>3</sup>, num total de 12 açudes estratégicos. Destacam-se o Atalho II, com 108,25hm<sup>3</sup>, com vazão regularizada de 0,95m<sup>3</sup>/s, o Lima Campos, com 66,37hm<sup>3</sup> e vazão regularizada de 0,491m<sup>3</sup>/s, o açude Rosário com 66,38hm<sup>3</sup> e vazão regularizada de 0,15m<sup>3</sup>/s e o Riacho dos Carneiros, com 37,18hm<sup>3</sup> regularizando 0,756m<sup>3</sup>/s. Além desses, os açudes Quixabinha, Prazeres, Ubaldinho e Cachoeira possuem razoáveis potenciais de reservação.

São grandes as potencialidades de águas subterrâneas. Os melhores aquíferos da bacia do Jaguaribe estão localizados nessa região, notadamente no Cariri. Por conta disso, a maior parte de seus municípios é atendida por poços. Atualmente, são 1.758 poços cadastrados com vazão média de 20,88m<sup>3</sup>/h; resultando numa disponibilidade instalada de 36.705,3m<sup>3</sup>/h. Os aquíferos da região são do Cristalino, do Grupo Araripe e de Aluviões (CBH, 2006).

### 3.4.3 Bacia do Banabuiú

Com extensão de 314km e área de drenagem de 19.316km<sup>2</sup>, o Rio Banabuiú é o principal tributário do Rio Jaguaribe. Desenvolve-se no sentido oeste-leste, tendo sua foz localizada próximo à sede do município de Limoeiro do Norte. São seus afluentes pela margem esquerda os rios Patu, Quixeramobim e Sitiá e pela margem direita destaca-se apenas o riacho Livramento.

A capacidade de armazenamento de água superficial em 17 reservatórios monitorados é da ordem de 2.544,98hm<sup>3</sup> gerando uma vazão regularizada com 90% de garantia (Q90) em torno de 19,83m<sup>3</sup>/s. Destes, os maiores são o açude Banabuiú, com volume de 1.700hm<sup>3</sup>; o açude Pedras

Branças, com volume de 434,04hm<sup>3</sup>; o açude Cedro, com volume de 126,00hm<sup>3</sup> e o açude Fogareiro, com 118,82hm<sup>3</sup>. Ressalta-se um expressivo volume armazenado em cerca de 1.500 pequenos açudes distribuídos por toda a área da bacia, de usos privados e comunitários.

A região é assentada totalmente no aquífero Cristalino. A oferta hídrica subterrânea, em dados de 2002, caracterizava-se pela disponibilidade instalada de cerca 2.951,2m<sup>3</sup>/h em 1.904 poços cadastrados e em operação (CBH, 2006).

#### 3.4.4 Bacia do Acaraú

Localizada na Zona Norte do Estado, essa Região é drenada exclusivamente pelo Rio Acaraú e seus afluentes. Ocupa uma área da ordem de 14.427km<sup>2</sup> que representa 9,22% da área do Estado. Os rios Groaíras, Jacurutu, dos Macacos e Jaibaras são os principais contribuintes do Acaraú, e compõem a segunda bacia independente do Ceará. Seus 684 açudes conferem uma capacidade de acumulação estimada em 1,6 bilhão de m<sup>3</sup>, destacando-se dez açudes estratégicos que armazenam 1,37 bilhão de m<sup>3</sup>.

Os volumes acumulados estão concentrados em grandes reservatórios, destacando-se o Araras, com 890,00hm<sup>3</sup> e regularizando 9,27m<sup>3</sup>/s, o Edson Queiroz, com 250,5hm<sup>3</sup> e regularizando 1,75m<sup>3</sup>/s e o Ayres de Sousa, com 104,4hm<sup>3</sup>, regularizando 1,92m<sup>3</sup>/s. Além desses, ainda pode-se citar os açudes Acaraú Mirim, com 52,00hm<sup>3</sup> e Forquilha, com 50,00hm<sup>3</sup>.

Os açudes Poço Comprido, Pedregulho, Taquara compõem a infraestrutura futura. Implantados, totalizarão capacidade de 967,40hm<sup>3</sup>. O nível de acumulação necessária com pequena e média açudagem é estimado em 13,30hm<sup>3</sup> no ano normal.

Seus principais aquíferos são cristalino e aluvionar: Jaibaras, Barreiras e Bacia Sedimentar Serra Grande. Estão cadastrados 749 poços, com uma disponibilidade instalada de 1.243,7m<sup>3</sup>/h (CBH, 2006).

#### 3.4.5 Bacia do Litoral

Esta região hidrográfica, com área de drenagem de 8.619km<sup>2</sup>, engloba as Bacias do Aracatiaçu (3.415km<sup>2</sup>), Mundaú (2.227km<sup>2</sup>), Aracati-Mirim (1.565km<sup>2</sup>), Trairi (556km<sup>2</sup>) e Zumbi (193km<sup>2</sup>), além de uma Faixa Litorânea de Escoamento Difuso (FLED) de 663km<sup>2</sup>.

Seus principais reservatórios são: Santo Antônio de Aracatiaçu (24,3hm<sup>3</sup>), Mundaú (21,3hm<sup>3</sup>), São Pedro da Timbaúba (19,2hm<sup>3</sup>) e Poço Verde (13,6hm<sup>3</sup>). Estes quatro açudes têm capacidade para acumular cerca de 80% do volume máximo previsto para os sete reservatórios monitorados pela COGERH nesta bacia, que é de 98,3hm<sup>3</sup> (CBH, 2006).

#### 3.4.6 Bacia do Curu

A bacia do Curu possui uma área de drenagem de 8.528km<sup>2</sup>. O Rio Curu nasce na região montanhosa formada pelas Serras do Céu, da Imburana e do Lucas, localizadas no centro norte do Estado. Ao longo de 195km, até sua foz, ele corre preferencialmente no sentido sudoeste-nordeste. No conjunto, esta bacia possui relevo predominantemente de moderado a forte, com grande parcela de seu divisor sendo formada por zonas montanhosas, com destaque para a Serra de Baturité, ao leste, e a Serra de Uruburetama, ao oeste. Os principais afluentes desta bacia são os rios: Caxitoré, na margem direita e o Canindé, pela margem esquerda.

Dentre as bacias estaduais, esta é a que tem maior índice de controle, através de seus reservatórios que dominam cerca de 80% de sua superfície. Os principais açudes são: General Sampaio (322,2hm<sup>3</sup>), Pentecoste (395,6hm<sup>3</sup>) e Caxitoré (202,0hm<sup>3</sup>). Estes três açudes têm capacidade para acumular cerca de 86% do volume máximo previsto para os 13 reservatórios monitorados pela COGERH nesta bacia, que é de 1.068,3hm<sup>3</sup>.

A oferta hídrica subterrânea nos principais aquíferos: Dunas – Barreiras; Cristalino e Aluviões é da ordem de 576,0m<sup>3</sup>/h em mais de 500 poços cadastrados (CBH, 2006).

#### 3.4.7 Bacia do Baixo Jaguaribe

Formada pela Bacia do Jaguaribe a jusante da ponte do Peixe Gordo até sua foz no Atlântico, e por pequenas bacias litorâneas, essa região drena uma área de 8.893km<sup>2</sup>. O Rio Palhano se apresenta como principal afluente do Jaguaribe nesse trecho.

Uma característica marcante do Baixo Vale é o alargamento da planície aluvial com a formação de grandes extensões de solos irrigáveis, necessitando, por conseguinte, de maiores volumes regularizados.

Nessa região, o rio Jaguaribe é perenizado pelos açudes do Médio e Alto Vale, bem como das bacias dos rios Salgado e Banabuiú.

Com 207 açudes, a região oferece uma capacidade de reservação de 296,71hm<sup>3</sup>, a menor dentre as bacias do Jaguaribe. Cerca de um quinto do total acumulado refere-se a médios açudes.

Destaca-se o açude Santo Antônio de Russas, com 29,72hm<sup>3</sup>, que regulariza a vazão de 0,336m<sup>3</sup>/s.

Os sistemas aquíferos da Bacia são: Bacia Sedimentar Potiguar; Aluviões; Cristalino e Dunas-Barreiras. A oferta hídrica subterrânea gerada pelos mesmos a partir de 510 poços cadastrados em operação representa a disponibilidade instalada de 1.694,20m<sup>3</sup>/h em dados do ano 2000 (CBH, 2006).

#### 3.4.8 Bacia do Alto Jaguaribe

A região hidrográfica do Alto Jaguaribe localiza-se a montante do açude Orós e drena uma área de 24.636km<sup>2</sup>. O Rio Jaguaribe, nessa região, possui uma

extensão de 325km, e tem declividades que variam de 0,03% a 2,5%, sendo a declividade média de 0,06%.

O Alto Jaguaribe tem como principais afluentes, os rios Bastiões, Trussu e Carius, e os riachos Carrapateiras, Trici; Puiú e Conceição.

Em termos de acumulação de águas superficiais, a região do Alto Jaguaribe apresenta uma capacidade monitorada em 15 reservatórios, da ordem de 2.544,98hm<sup>3</sup> que regulariza uma vazão com 90% de garantia (Q90) de cerca de 19,83m<sup>3</sup>/s. Destes reservatórios, os principais são: Orós com 1.940,00hm<sup>3</sup>, Trussu com 260,57hm<sup>3</sup> e Canoas com 69.25hm<sup>3</sup>, registrando-se um grande número de pequenos açudes de usos particulares ou comunitários.

Apesar de apresentar expressivo volume de acumulação de águas superficiais, a região é considerada deficitária pela quantidade de trechos de rios perenizados, onde os grandes reservatórios estão no terço inferior da bacia, isto é, o mais a jusante possível o que caracteriza as regiões hidrográficas que formam nascentes do curso d'água principal.

A oferta hídrica subterrânea gerada pelos sistemas aquíferos da bacia (bacia sedimentar do Araripe, bacia sedimentar do Iguatu, aluviões e cristalino) a partir de 1.278 poços cadastrados e em operação, apresenta a disponibilidade instalada de 2.266,6m<sup>3</sup>/h, com base no ano 2002 (CBH, 2006).

#### 3.4.9 Bacia do Rio Parnaíba

Apenas uma pequena área de 16.901km<sup>2</sup> da bacia do rio Parnaíba é parte integrante do território cearense (bacias dos rios Poti e Longá). Enquanto o rio Poti atravessa zonas com altos índices de aridez, o mesmo não acontece com a região drenada pelo rio Longá, situada mais a norte, sobre o planalto da Ibiapaba.

Nesta chapada os altos índices pluviométricos e os solos de natureza sedimentar conferem aos cursos d'água um regime de semi-perenização, muito raro na região Nordeste.

Engloba as bacias do rio Poti e Macambira (14.377km<sup>2</sup>) e o conjunto de 8 sub-bacias independentes pertencentes à bacia dos rios Longá/Pirangi (2.524km<sup>2</sup>). A bacia do Poti é a única das bacias principais não integralmente contidas no Ceará: suas águas também interessam ao Estado do Piauí. Representa cerca de 5% da área de drenagem do rio Parnaíba.

Na bacia drenada pelo rio Parnaíba em território cearense, os principais açudes são: Jaburu I (210,0hm<sup>3</sup>), Jaburu II (116,0hm<sup>3</sup>), Flor do Campo (111,3hm<sup>3</sup>), Barra Velha (99,5hm<sup>3</sup>) e Carnaubal (87,7hm<sup>3</sup>). Estes cinco açudes têm capacidade para acumular cerca de 93% do volume máximo previsto para os 9 reservatórios monitorados pela COGERH nesta bacia, que é de 673,8hm<sup>3</sup> (CBH, 2006).

#### 3.4.10 Bacia Metropolitana

A Bacia Metropolitana constitui uma Região Hidrográfica formada por 16 bacias independentes, das quais apenas as bacias do Pirangi, Choró, Pacoti e São Gonçalo e os Sistemas Ceará/Maranguape e Cocó/Coaçu são hidrologicamente mais representativas, estando as demais restritas a zona costeira.

Ocupando uma área de 15.085km<sup>2</sup> a região abriga o mais importante centro consumidor de água que é a Região Metropolitana de Fortaleza onde a disponibilidade hídrica tem sido insuficiente para o atendimento da população e para o suprimento de todas as atividades econômicas, necessitando importar água de outras bacias hidrográficas, principalmente às transposições Jaguaribe/RMF (Região Metropolitana de Fortaleza) através do Canal do Trabalhador e do Eixo Castanhão/RMF.

A oferta de água superficial é feita por um sistema de reservatórios monitorados pela COGERH destacando-se os principais: Pacoti com 380hm<sup>3</sup>;

Pacajus com 240hm<sup>3</sup>; Pompeu Sobrinho (Choró) com 143hm<sup>3</sup>; Riachão com 46,9hm<sup>3</sup>; Gavião com 29,5hm<sup>3</sup>; Acarape do Meio com 31,5hm<sup>3</sup>; Sítios Novos com 123,2hm<sup>3</sup> e Aracoiaba com 170,7hm<sup>3</sup>. Todo o sistema regulariza uma vazão da ordem de 14,50m<sup>3</sup>/s com 90% de garantia.

A disponibilidade de água subterrânea nos principais aquíferos (Dunas – Barreiras; Cristalino e Aluviões) em 2.244 poços cadastrados em operação é da ordem de 622,7m<sup>3</sup>/h (CBH, 2006).

#### 3.4.11 Bacia do Rio Coreaú

Esta região hidrográfica tem 10.657km<sup>2</sup>, englobando tanto a bacia drenada especificamente pelo rio Coreaú e seus afluentes, com 4.446km<sup>2</sup>, como também o conjunto de bacias independentes adjacentes que variam de pouco mais de 125km<sup>2</sup> (Córrego da Poeira) até próximo de 1.850km<sup>2</sup> (Timonha). O rio Coreaú nasce da confluência dos riachos Jatobá e Caiçara, oriundos do sopé da Serra da Ibiapaba, e desenvolve-se (praticamente no sentido sul-norte) por 167,5km até o Oceano Atlântico. Este rio possui baixas declividades, especialmente na sua metade final. Seu principal afluente é o rio Itacolomi, merecendo citação, também, o riacho Juazeiro (SRH-CE/Consórcio MW-Engesoft, 2000 *apud* CBH, 2006).

Essa região apresenta três feições bem distintas: a parte montanhosa corresponde ao planalto da Ibiapaba e a serra da Meruoca, onde a pluviosidade média anual supera 1.100mm, motivada principalmente por fatores orográficos; uma área de sertão, com todas as características do semi-árido nordestino; e uma faixa litorânea marcada pela presença de muitas lagoas e lagoas.

Em termos de acumulação existem poucas obras. O Diagnóstico do PLANERH (SRH-CE, 1992 *apud* SRH-CE, 2004) apresenta informação de que até o ano de 1992 existiam apenas dois reservatórios públicos, o Tucunduba (41,4hm<sup>3</sup>) e o de Várzea da Volta (12,5hm<sup>3</sup>). Mais recentemente foram construídos alguns açudes de maior expressão, tais como: Itaúna (77,5hm<sup>3</sup>), Gangorra

(62,5hm<sup>3</sup>) e Angicos (56,0hm<sup>3</sup>). Os cinco açudes citados têm capacidade para acumular cerca de 84% do volume máximo desta bacia, que é de 297,1hm<sup>3</sup> (PLANERH, 2005 *apud* CBH, 2006).

### 3.5 Geomorfologia

A compartimentação topográfica do território cearense decorre eminentemente de eventos naturais que se verificaram no Pleistoceno<sup>12</sup> e que segundo Souza *et al.* (1979) é sem dúvida o de maior significado para análise dos fatos geomorfológicos. Relevos desenvolvidos em terrenos do embasamento cristalino, ou em áreas de capeamentos sedimentares, decorrem de diversas influências em que participam a estrutura geológica juntamente com os fatores paleoclimáticos e eustática (que se caracteriza pela mudança do nível geral dos oceanos), além da dinâmica morfogenética atual.

A dinâmica morfogenética é estreitamente vinculada às condições climáticas atuais, evidenciando a atuação presente dos processos erosivos responsáveis pela formação e escultura do relevo devido à dinâmica ambiental, com reflexos diretos no processo de utilização da terra.

É importante salientar que o relevo cearense apresenta uma geomorfologia bastante diferenciada. Uma característica, no entanto, pode ser imediatamente constatada: trata-se da predominância das superfícies rebaixadas do sertão recobertas por caatingas, que compreendem extensas depressões periféricas de bordos de bacias sedimentares em contato com rochas do escudo cristalino, que se estendem no sentido dos fundos dos vales ou se dirigem para o litoral através de declives suavemente inclinados.

Estas depressões que atestam os efeitos pronunciados dos processos erosivos a que estiveram submetidas no Pleistoceno, são constantemente interrompidas pelo surgimento de formas residuais elevadas que constituem os relevos serranos. Nestes relevos, em particular, há uma diversificação da

---

<sup>12</sup> Pleistoceno: período quaternário que ocorreu entre 1,8 milhões a 11.500 anos atrás, onde o clima e a temperatura mudaram drasticamente.

paisagem dos sertões, pelo surgimento não apenas destas serras, mas também pelas planícies aluviais, que comportando solos de melhor qualidade e maior umidade, permitem uma atividade agrária mais intensa.

Os relevos com características próprias e dotadas de certo grau de homogeneidade, foram identificados e separados de acordo com a Tabela 3.3.

**Tabela 3.3** – Unidades geomorfológicas existentes no Estado do Ceará.

UNIDADES	Área (km <sup>2</sup> )	%
Planície Litorânea	744,13	0,50
Tabuleiros Sub-litorâneos	14.570,03	9,79
Depressão Sertaneja	102.555,72	68,91
Chapada do Apodi	2.157,97	1,45
Chapada do Araripe	2.604,45	1,75
Planalto da Ibiapaba	8.051,46	5,41
Maciços Residuais Cristalinos	11.459,57	7,70
Cristas Residuais e Inselbergs	2.321,68	1,56
Planícies Fluviais	4.360,59	2,93
TOTAL	148.825,60	100,00

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (1979).

A seguir será estabelecida uma caracterização de cada unidade, de forma sumária, isto é, sem entrar em discussões mais profundas sobre a gênese das mesmas, mas focando-se em informações importantes à compreensão da geomorfologia do Estado do Ceará.

### 3.5.1 Planície Litorânea

Trata-se de uma faixa de terra que acompanha paralelamente a faixa costeira, com largura entre 05 a 10km e é constituída por sedimentos arenosos recentes intensamente trabalhados pela ação eólica.

Tem como consequência geomorfológica principal a elaboração de uma vasta faixa de dunas móveis submetidas a uma contínua mobilização das partículas de areia. À retaguarda das dunas móveis há dunas de geração mais antiga, onde se encontram revestidas por vegetação, o que contribui para deter a remoção de material. Nestas dunas, há indício da efetivação de processos pedogenéticos, que se reflete num desenvolvimento, embora incipiente, de um horizonte superficial, que mantém uma vegetação de porte arbustivo e às vezes arbóreo, denotando maior avanço da pedogênese. É comum em determinadas áreas da Planície Litorânea, verificar-se uma interpenetração dos dois tipos de dunas, ao lado de paleodunas disseminadas a maior distância da costa.

Ao lado das dunas, as planícies fluviomarinhas, desenvolvidas através de um processo combinatório de agentes fluviais e marinhos, marcam a paisagem da planície litorânea. Observa-se então, que sob a influência da preamar os sedimentos marinhos são depositados ao lado dos aluviões fluviais. Este ambiente cria condições para a fixação de mangues que se dispõem longitudinalmente às calhas fluviais próximo às embocaduras dos rios. É importante observar que estas planícies nem sempre têm o seu desenvolvimento num sentido perpendicular à linha do litoral. Muitas vezes, elas têm sentido paralelo, em especial quando a faixa de dunas se interpõe como obstáculo à livre circulação do escoamento fluvial. Os cursos d'água de menor caudal chegam a ser barrados formando lagoas costeiras de acentuado comprimento e pequena largura. Circundando-as, constata-se o desenvolvimento das planícies flúvio-lacustres normalmente de pequena dimensão.

Nota-se que o posicionamento das dunas tem papel decisivo para explicar a padronagem anastomótica, formada pela justaposição de dunas, diques marginais e cordões fluviais, entrecortados por canais e lagos, que se interligam, verificadas nos baixos cursos d'água, ou os freqüentes desvios das embocaduras.

Na faixa costeira observa-se a presença de inúmeras pontas que quebram a retificação do litoral (Jericoacoara, Iguape, Mucuripe, entre outras). É comum também, a existência de paredões costeiros esculpturados pela abrasão

marinha, responsável pelas falésias observadas em Paracuru, Caucaia, Camocim, Jericoacoara e Morro Branco, entre outros (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.2 Tabuleiros Sub-litorâneos

À retaguarda da cadeia de dunas e desenvolvidos em material detrítico pertencente ao Grupo Barreiras, a nota característica é dada pelos relevos rebaixados de topos horizontais que constituem os tabuleiros sub-litorâneos.

A área como um todo, se apresenta como uma rampa suavemente inclinada do interior para o oceano com declividade não superior a 5%. Representa, portanto, um típico glacis de acumulação que sulcado pela drenagem que demanda o litoral, isola os interflúvios tabuliformes<sup>13</sup>. As altitudes dos tabuleiros variam, normalmente, de 30 a 40m, alcançando para o interior já nas proximidades do contato com rochas do embasamento cristalino cotas mais elevada.

A pequena capacidade de incisão linear proporcionada pela drenagem confere uma pequena amplitude altimétrica entre os interflúvios e os fundos de vales. Esta amplitude dificilmente supera a cota de 15m.

As encostas desses relevos têm feições retilíneas e expõem, às vezes, um material concrecionário<sup>14</sup> de maior resistência. Por outro lado, nos interflúvios quando os sedimentos de textura mais arenosa são substituídos por sedimentos mais pesados e de textura argilosa, a dissecação do relevo tende a se acentuar e o modelado resultante tem topos ligeiramente convexos.

A boa drenagem apresentada pelos solos dificulta a ação erosiva dos processos pluviais acentuando, principalmente os efeitos da lixiviação (dissolução e remoção dos constituintes de rochas e de solos). Sob tal ponto de vista, o

---

<sup>13</sup> Interflúvios tabuliformes: área mais elevada situada entre dois vales, caracterizada por uma seqüência de camadas sedimentares horizontais.

<sup>14</sup> Material concrecionário: material grosseiro com predomínio de petroplintita do tipo nódulos ou concreções de ferro ou de ferro e alumínio, numa matriz terrosa de textura variada ou matriz de material mais grosseiro.

trabalho de desgaste só chega a se processar de modo mais pronunciado, quando os sedimentos argilosos afloram, dificultando a infiltração e acelerando a ablação superficial (conjunto de fenômenos que iniciam o transporte dos detritos das rochas) através do lençol de escoamento difuso (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.3 Depressão Sertaneja

Compreende em termos de extensão geográfica, a unidade de maior expressividade. Representa uma superfície embutida, entre planaltos cristalinos e/ou sedimentares, com níveis altimétricos variáveis entre 100 e 350m, com topografia expressivamente aplainada ou ligeiramente ondulada e recoberta por caatingas de porte e flora bastante diferenciáveis conforme a localização. Pela extensão que a caracteriza, a depressão sertaneja apresenta acentuadas mudanças de natureza litológica e edáfica. Não obstante as nuances observadas quanto às rochas, nota-se como um todo, o desenvolvimento de uma superfície de erosão que truncando os mais diferenciados tipos de rochas, enseja a elaboração de um vasto aplainamento desenvolvido por processos de pediplanação criado pelas condições de semi-aridez mais rigorosas. A distribuição espacial dos solos é bastante complexa, expresso por associações das mais diversificadas.

É na depressão sertaneja, que as condições climáticas de semi-aridez se tornam mais agudas com totais pluviométricos que dificilmente ultrapassam a 800mm. O que, porém, melhor identifica o clima regional é o regime pluviométrico irregular, tanto que no que diz respeito ao tempo, quanto no espaço. Esta irregularidade alcança, às vezes, os casos extremos de secas, ou de chuvas excessivas e até mesmo um atraso pronunciado.

Pelo que representa em termos de área no contexto espacial cearense, torna-se imprescindível e imperiosa a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que conduzam ao estabelecimento de diretrizes exequíveis para atenuar as limitações impostas pelo quadro natural. E isto será possível através de ações como construções de barragens juntamente com tecnologia adaptada aos

recursos naturais existentes, que são, atualmente, pouco propícios às atividades rurais.

Do ponto de vista geomorfológico, as áreas deprimidas do sertão se evidenciam através de rampas suavemente inclinadas com declives da ordem de 3 a 8%. O caimento topográfico se orienta no sentido dos fundos dos vales, ou do litoral, com declive a partir da base dos níveis elevados dos planaltos sedimentares, ou dos maciços residuais, ou mesmo das cristas e *inselbergs*<sup>15</sup>.

Na maior parte do sertão a capacidade de incisão linear da drenagem é incipiente o que justifica a pequena amplitude entre os interflúvios e fundos de vales. Quando a drenagem se adensa e as rochas tenras prevalecem, há condições para que a topografia se mostre mais dissecada e os interflúvios assumam formas de topos convexizados.

A dinâmica morfogenética das depressões sertanejas está estreitamente correlacionada com os condicionantes climáticos e com o caráter caducifólio<sup>16</sup> do revestimento florístico. A acentuada amplitude diurna das temperaturas é o principal fator que conduz à desagregação física das rochas. As chuvas torrenciais por outro lado têm papel decisivo no processo de remoção daquele material alterado. O revestimento florístico pouco contribui para deter os efeitos das enxurradas sertanejas e o material superficial por ocasião da estação chuvosa, vai aos poucos sendo removido pela ação do lençol de escoamento e pelo lençol concentrado (erosão hídrica laminar). Disso resulta a menor profundidade dos solos e a ocorrência de pavimento desértico (chão pedregoso) pela pequena capacidade transportadora do lençol de escoamento.

Em suma, um conjunto de características ambientais serve para definir a fisiografia da depressão sertaneja referindo-se como mais significativas as

---

<sup>15</sup> *Inselbergs*: do alemão, montanha da ilha, é a forma residual que apresenta feições variadas tais como crista, cúpula, e domo, cujas encostas mostram declives acentuados, dominando uma superfície de aplanamento superior.

<sup>16</sup> Caducifólio: que perde a folhagem em determinada época do ano.

seguintes: pronunciada diversificação litológica pela ocorrência de rochas cristalinas, cristalofilianas e sedimentares, de diferentes origens e idades; condições climáticas semi-áridas responsáveis por processos físicos de alteração das rochas e pela ação dos escoamentos difuso e concentrado com elevado poder de transporte de detritos finos; processos erosivos chegam a truncar indistintamente litologias e estruturas, conduzindo à elaboração das superfícies erosivas denominadas de pedimentos, que identificam o sertão; revestimento generalizado de caatinga que tem papel irrelevante para deter ou atenuar os efeitos da ação erosiva; pequena espessura do manto de alteração das rochas, com grande frequência de solos pedregosos; capacidade diminuta da incisão linear promovida pela rede de drenagem (Souza *et al.*, 1979).

#### 3.5.4 Chapada do Apodi

Trata-se do mais rebaixado nível de planalto sedimentar do relevo cearense, com altimetria que não supera 250m. Desenvolvida em formações sedimentares do Grupo Apodi (Formação Jandaira e Açú, do Cretáceo), nota-se o suave mergulho estratigráfico no sentido N-NE, o que contribui decisivamente para conferir ao relevo, certa dissimetria, em face de um escarpamento mais íngreme em sentido contrário. A morfologia, portanto, se assemelha mais a uma feição em forma de cuesta (elevação assimétrica tendo um lado escarpado e o outro suave, formado pela erosão de camadas inclinadas com diferentes resistências ao ataque dos agentes de intemperismo) em que a face com declive mais íngreme se volta para o interior, enquanto o reverso mergulha de modo mais suave para o litoral através de declives não superiores a 5%, a seguir a Figura 3.11 mostrará o esquema do relevo de uma cuesta.



Fonte: UnB (2008).

**Figura 3.11** – Esquema do relevo de uma cuesta.

Limitando a fronteira norte - oriental dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, a chapada do Apodi é capeada em sua quase totalidade por calcários pertencentes à Formação Jandaira. Em território cearense, a escarpa voltada para oeste, só chega a ser mais perceptível quando o Rio Jaguaribe se aproxima da mesma. Há então o contato das litologias do Grupo Apodi com as aluviões da planície fluvial elaborada pelo Jaguaribe.

A topografia da chapada é extremamente regular e sem qualquer indício dos processos de dissecação do relevo. Isto se deve à permeabilidade apresentada pelos terrenos calcários e areníticos que caracterizam o relevo. Por outro lado, a baixa altimetria da área não chega a favorecer a formação de chuvas orográficas, uma vez que os deslocamentos de ar não encontram maiores obstáculos que motivem condições ambientais análogas às aquelas observadas na depressão sertaneja.

A dinâmica geomorfogenética tem em consequência das condições precedentes referidas, uma evolução que em grande parte guarda semelhança com as superfícies de aplainamento sertanejas (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.5 Chapada do Araripe

Abrange os setores meridionais do território cearense na fronteira com o Estado de Pernambuco. Desenvolve-se em rochas cretácicas do Grupo Araripe. Contrariamente à Chapada do Apodi, no Araripe as cotas altimétricas alcançam em média 900m. O topo do planalto compreende uma superfície tabular onde a inexistência de drenagem superficial justifica a preservação da superfície horizontal sem que se chegue a denunciar qualquer trecho sujeito aos efeitos dos processos de dissecação do relevo.

A precariedade do escoamento superficial, decorrente da elevada porosidade e permeabilidade das rochas, justifica o surgimento de inúmeras ressurgências na vertente setentrional voltada para o Ceará. Este fato condiciona o desenvolvimento de um típico "brejo" de pé-de-serra. Trata-se da região do

Cariri. Nesta área as condições naturais em nada se assemelham ao que é verificado no topo da Chapada. O Cariri é uma das mais importantes regiões do Estado e apresenta extraordinário adensamento populacional, contrastando com a ocupação observada na chapada propriamente dita (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.6 Planalto da Ibiapaba

Constitui um dos mais expressivos compartimentos de relevos do território cearense, limitando em toda a sua fronteira ocidental com o estado do Piauí. Em termos estruturais, a escarpa da Ibiapaba compreende o rebordo leste da bacia sedimentar Paleozóica do Maranhão-Piauí. Este rebordo constitui uma face de declive superior a 35% que contrasta para leste com os terrenos rebaixados e aplainados da depressão sertaneja. À medida que se atinge a superfície de topo da Ibiapaba a topografia declina de modo quase imperceptível para oeste no sentido do Piauí. Evidencia-se então a área do reverso configurando para a Ibiapaba como todo, um bloco dissimétrico que coaduna nitidamente com os relevos de cuestas.

As altitudes médias do Planalto da Ibiapaba estão em torno de 750m e é oportuno referir que de norte para sul como de leste para oeste, as condições ecológicas são substancialmente diferentes. Nos setores setentrionais os efeitos das chuvas orográficas são mais evidentes tanto na face como no reverso imediato. À medida que o obstáculo topográfico é transposto, cessam os efeitos das chuvas. Passa-se assim depois de 8 a 10km, de faixa úmida primariamente recoberta pela mata perenifolia ou sub-perenifolia (brejo), para a região do "carrasco" e na qual a semi-aridez é o principal fator condicionador ao lado de latossolos, regossolos e areias quartzosas, resultantes de um arenito que acoberta todo o planalto em território cearense.

De norte para sul, sobremaneira após o boqueirão formado pelo Rio Poti, a caatinga ocupa a quase totalidade do espaço, refletindo assim também, queda substancial das precipitações. Nota-se que, tanto para o sul quanto para o oeste há um aumento progressivo das deficiências hídricas. A área úmida tem,

portanto, extensão restrita devido aos desmatamentos indiscriminados. Evidentemente que o referido problema tem estreita conexão com uma política racional de preservação e de uso da terra (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.7 Maciços Residuais Cristalinos

Nos vastos aplainamentos que caracterizam o sertão cearense, surgem áreas de exceção que representam verdadeiras "ilhas" de umidade no contexto geral semi-árido. Trata-se dos maciços antigos constituídos por rochas metamórficas ou intrusivas revestidos primariamente por florestas perenifólicas ou sub-perenifólicas com morfogênese química e evolução associada com os processos de dissecação do relevo. A direção predominante desses maciços é SW-NE ou SSW-NNE e mais raramente S-N. Esta orientação ao lado da localização e da altitude confere, para cada maciço, a verificação de setores distintos do ponto de vista ambiental. Nas serras situadas mais próximas ao litoral, com altitudes superiores a 600m, as vertentes orientais são submetidas aos efeitos de maiores precipitações, o que se reflete na ocorrência de encosta de barlavento<sup>17</sup> e favorece a fixação de um contingente demográfico dos mais expressivos. Esta população se dedica a uma atividade agrícola de policultura, sem obedecer, contudo, às mínimas condições de preservação dos recursos naturais renováveis.

Através do desmatamento indiscriminado que vem se processando sem que se preserve nem mesmo os topos das elevações ou encostas, com declives superiores a 40%, os processos de erosão acelerados com freqüentes deslizamentos de terra por ocasião da estação chuvosa, tendem a um depauperamento dos solos e afetam os mananciais hídricos.

Nas vertentes ocidentais ao abrigo dos ventos úmidos, se estabelecem as áreas de "quebradas" onde apesar de se verificarem processos de dissecação promovidos pela drenagem, a morfogênese guarda semelhanças com certas

---

<sup>17</sup> Barlavento: lado exposto ao vento.

áreas das depressões sertanejas em especial com os relevos ondulados revestidos por caatingas hipoxerófilas.

Os maciços cristalinos secos, com altitudes abaixo de 600m, localização interiorizada e sem que se verifiquem pronunciadas mudanças climáticas motivadas por influência morfológica, não tem as características de "brejo" referidas para os topos e vertentes de barlaventos dos maciços úmidos mais elevados. Tem um ambiente com condições análogas ao das vertentes de sotavento daquelas serras úmidas.

Os maciços residuais cristalinos, contudo, compreendem importantes regiões agrícolas do Estado, onde o sistema fundiário tem conotações estreitas com a melhoria dos fatores do potencial ecológico. A par de tais condições, concentram efetivos humanos expressivos que vivem da exploração de minifúndios, através de uma policultura que pela superutilização da terra, tem favorecido a deterioração de recursos naturais renováveis e contribuindo para agravar a qualidade de vida dessa população.

Dentre os maciços úmidos podem ser considerados os seguintes: Baturité, Maranguape, Meruoca, Machado, Uruburetama etc. As serras das Matas, Calogi, Rosário, São Pedro, Estevão, Guaribas, Pipocas, além de outros compartimentos menores se enquadram como serras secas (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.8 Cristas Residuais e Inselbergs

São formas disseminadas pela depressão sertaneja que efetivam os efeitos seletivos de trabalho erosivo no decorrer da história geológica recente da região. São geralmente áreas despidas de solo ou de vegetação e quando a pedogênese é efetiva, conduz à formação de solos litólicos, recobertos por uma caatinga de porte arbustivo (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.9 Planícies Fluviais

Representam típicas formas de deposição fluvial, que dentre estas planícies as mais expressivas foram formadas pelos rios Jaguaribe, Banabuiu, Salgado, Acaraú, Curu, Coreaú, Aracatiaçu, Aracatimirim, Poti, dentre outros.

Transversalmente, podem ser observados nestas planícies, setores bem homogêneos e claramente identificados: a vazante compreende basicamente o talvegue e o leito menor do rio, podendo ser submetido a cheias periódicas. Na área de vazante a largura é dependente do débito e do regime fluvial e atinge para os maiores rios distâncias que variam de 1.000 a 1.200m. Nela podem ser notadas a presença de bancos de areia e "croas". Imediatamente após a área da vazante, identifica-se a várzea que compreende a maior parte da planície fluvial.

São normalmente uma área de terras planas, desenvolvidas em ambas as margens, com largura que superam a 10km, para rios de maior escoamento. O material que constitui é de natureza aluvial e mais raramente, podendo-se nela notar a ocorrência de leitos de divagação do rio, em particular nos baixos cursos, quando a velocidade do fluxo hidrológico é sensivelmente diminuída.

A várzea só chega a ser atingida pelas águas do escoamento fluvial por ocasião de chuvas excessivas que provocam, conseqüentemente, a ocupação do chamado leito maior excepcional. Às vezes, as várzeas apresentam pequenos compartimentos mais elevados e abrigados mesmo durante as cheias excepcionais. Representam as popularmente conhecidas "várzeas altas". Em geral, porém, o que prevalece é a chamada "várzea baixa" ocupada pela mata galeria de carnaubais.

O limite da planície com os interflúvios é marcado finalmente pelas ocorrências de terraços fluviais - pequenas barrancas recobertas por seixos pouco arestados que compreendem parcelas representativas dos antigos leitos de inundações fluviais.

É oportuno referir que nas planícies fluviais, o nível hidrostático encontra-se a uma profundidade que pouco supera a 5 metros, possibilitando que haja durante a estação seca, um aproveitamento do lençol freático por meio de cacimbas ou de poços pouco profundos. Nos rios maiores, é freqüente também a presença de pequenas lagoas alimentadas pelo extravasamento de água do leito menor, quando se transpõe o obstáculo representado pelo dique marginal - pequena barranca fluvial que separa o leito menor da área de várzea (Souza *et al.*, 1979).

### 3.5.10 Pontos Culminantes do Estado do Ceará

Cinco são os pontos culminantes do estado do Ceará que apresentam picos com altitudes acima dos 1.000 metros, na Tabela 3.12 estão relacionados estes pontos com suas altitudes e localizações.

**Tabela 3.4 – Pontos culminantes do Estado do Ceará.**

Ponto culminante	Altitude (m)	Localização			
		Município	Serra	Latitude (S)	Longitude (WGr)
Pico da Serra Branca	1.154	Catunda/ Monsenhor Tabosa	Serra do Olho D'água	04° 46' 55"	40° 07' 55"
Pico Alto	1.112	Guaramiranga	Serra de Baturité	04° 18' 30"	38° 58' 35"
Pico Alto	1.085	Canindé/ Santa Quitéria	Serra do Céu	38° 58' 35"	39° 44' 51"
Morro do Coquinho	1.081	Itapipoca/ Itapajé	Serra de Uruburetama	03° 37' 34"	39° 35' 46"
Morro do Coquinho	1.020	Meruoca	Serra da Meruoca	03° 34' 00"	40° 29' 38"

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE,2005) *apud* IPECE (2008).

### 3.6 Geologia

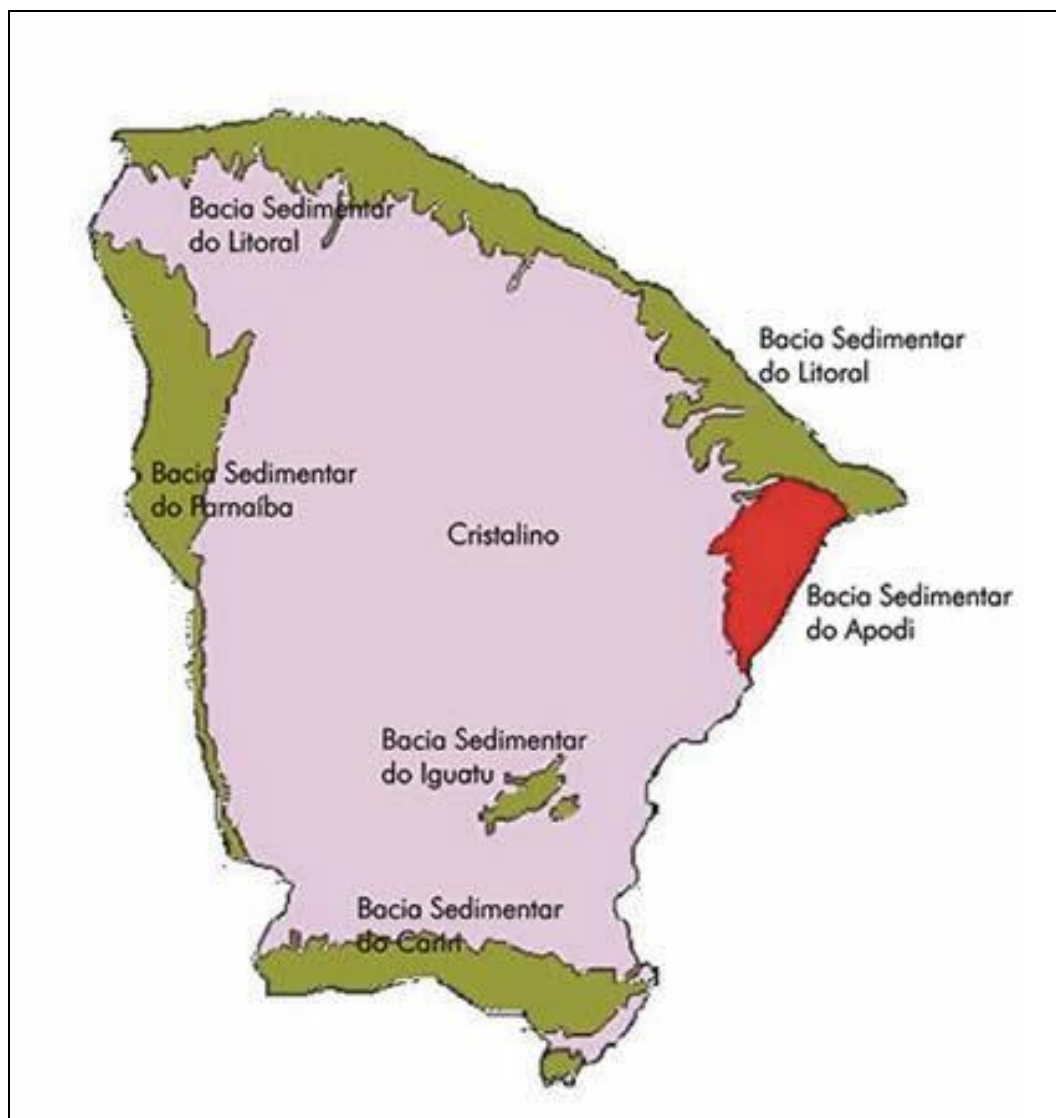
Para elaboração do projeto de uma barragem, há necessidade de informações sobre as fundações e os materiais (solos, areias e rochas) disponíveis. Daí, a importância de mapas geológicos, aerofotografias e sondagens que levadas a cabo, complementarão os dados indispensáveis ao projeto executivo da barragem e demais obras complementares.

O levantamento dos dados geológicos deve ser executado por um geólogo especialista em barragens, o qual deverá classificar os solos e rochas, com vistas à obra.

No estudo da geologia do local a ser construída uma barragem pode-se citar a seguinte seqüência para a realização dos trabalhos:

- Coleta dos dados: recolhimento de mapas geológicos e possíveis relatórios técnicos sobre a região.
- Elaboração de cartas geológicas: sempre acompanhadas de relatórios técnicos, descrevendo os tipos de rochas e solos, falhas constatadas, relacionamento com fugas, com vistas à permeabilidade do solo.
- Sondagens: que deverão se processar ao longo do eixo da barragem e vertedouro, como também nos locais de empréstimos e pedreiras.

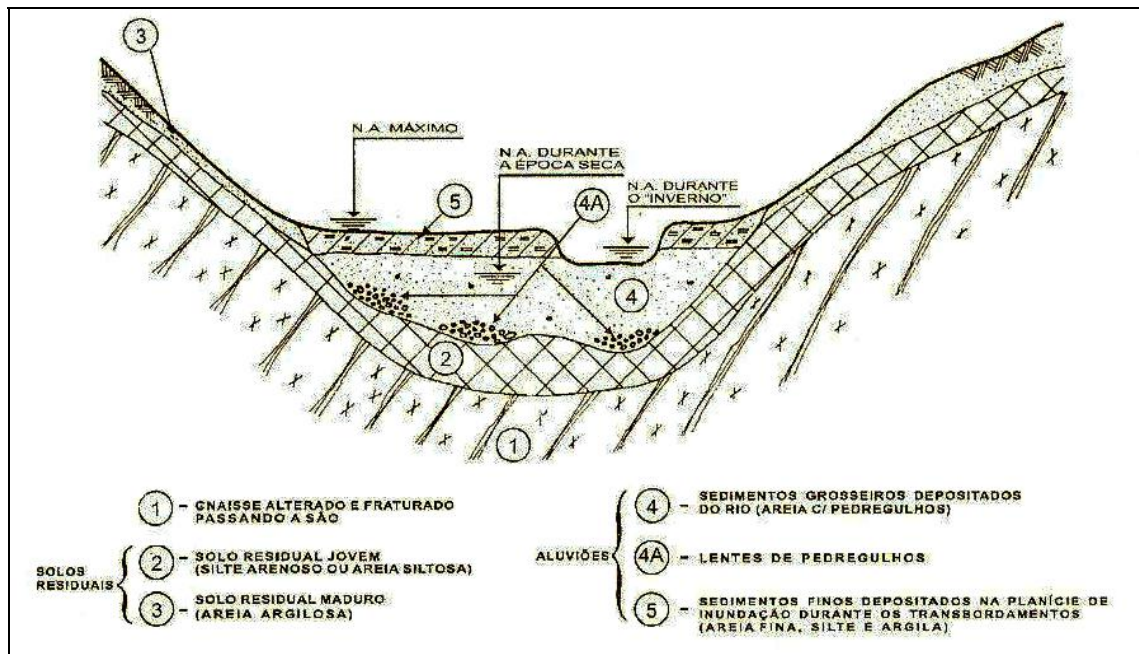
A Figura 3.12 apresenta o mapa da geologia do Estado do Ceará.



Fonte: SRH-CE (2008).

**Figura 3.12** – Mapa da geologia do Estado do Ceará.

Segundo Miranda (2005, *apud* Gusmão *et al.* 2005) o perfil esquemático de um vale no cristalino da região metropolitana de Fortaleza representa bem o estado do Ceará e está ilustrado na Figura 3.13.



Fonte: Gusmão *et al.* (2005).

**Figura 3.13** – Perfil Esquemático de um Vale na Região do Cristalino.

Os solos da região apresentam características geotécnicas bem definidas que influenciam o projeto e a execução das obras de engenharia.

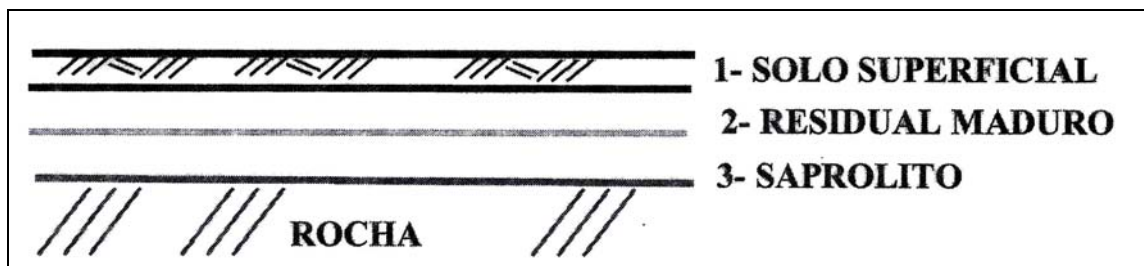
Acompanhando a rede fluvial estão os depósitos de sedimentos aluvionares. Na região do cristalino estes depósitos são constituídos por sedimentos de granulometria grossa ao longo da calha dos rios, enquanto nas planícies de inundação apresentam-se como areias finas, siltes e argilas, quase sempre com presença de matéria orgânica.

Nestas feições geológicas são encontradas as ocorrências de solos que irão fornecer os materiais naturais utilizados nas obras para compor os aterros, bem como a areia para o concreto e para eventuais camadas drenantes ou reaterros em presença de água.

Ainda segundo Miranda (2005, *apud* Gusmão *et al.* 2005), a região cristalina apresenta-se recoberta por um manto de solo resultante da alteração da rocha local. Estes solos dispõem-se em três horizontes distintos.

Um superficial, areno-argiloso com pedregulhos, marrom, com presença de raízes e matérias orgânicas. De pequena espessura, estes horizontes não possuem importância para obras, a não ser pela necessidade de expurgá-lo quando do lançamento das primeiras camadas de aterro ou no início da exploração das jazidas de solo.

De grande importância são os dois outros horizontes. O segundo horizonte, usualmente denominado de solo residual maduro é constituído por areia argilosa com pedregulhos, vermelho ou amarelo. O solo residual jovem (ou saprolito) mantém a aparência da rocha gnáissica e é constituído por frações variáveis de areia, silte e argila, conforme seja o grau de intemperismo sofrido e a composição mineralógica da rocha de origem. A Figura 3.14 apresenta os horizontes do solo de alteração.



Fonte: Gusmão *et al.* (2005).

**Figura 3.14** – Horizontes do solo de alteração.

A formação Barreiras distribui-se como uma faixa sedimentar de largura variável (até 30km) acompanhando a linha da costa, parcialmente recoberta junto ao litoral por dunas e areias marinhas. Estes sedimentos compõem-se de argilas variegadas e arenitos avermelhados com níveis caulínicos ou ricos em cascalho, algumas vezes apresentando camadas laterizadas e conglomerados grosseiros com cimento ferruginoso.

Os solos mais comuns na área do Grupo Barreiras são misturas de areia, silte e argila em proporções variáveis, formando camadas de areias argilosas, areias siltosas e argilas areno-siltosas, com níveis ricos em cascalho, cuja coloração varia do cinza claro ao vermelho, passando pelo amarelo e o laranja, algumas vezes variegada com a presença irregular de todos estes tons.

Os depósitos aluvionares nos rios e lagoas sobre os sedimentos terciários do Grupo Barreiras apresentam-se com granulometria fina, presença considerável de matéria orgânica e baixa resistência.

### **3.7 Hidrogeologia**

Compreender as características litológicas, estratigráficas e estruturais dos solos, sedimentos e rocha permite entender o processo de infiltração da água no subsolo, a forma como as unidades geológicas armazenam e transmitem a água subterrânea e as influências nos seus aspectos relativos à quantidade e qualidade.

Os recursos hídricos superficiais são a principal fonte de suprimento de água no Ceará. No entanto, a exploração de águas subterrâneas vem crescendo significativamente, principalmente em virtude do grande aumento populacional, isto é, as pressões de demanda somadas aos períodos de estiagem prolongada impulsionam a exploração de águas subterrâneas.

No entanto, há uma dificuldade em se estimar o verdadeiro potencial dos recursos hídricos subterrâneos, o que poderá ocasionar sérios problemas de rendimento desses reservatórios ou até mesmo o seu colapso, caso não haja um acompanhamento e gerenciamento adequado dessas reservas.

O armazenamento no cristalino, litologia dominante no Ceará, é limitado em razão da alta resistência à infiltração, ocorrendo principalmente quando do preenchimento de regiões abertas ou fraturas. Para prospecção adequada, é exigido bom reconhecimento estrutural da área, acompanhada de levantamentos

geofísicos. Em geral, regiões de cristalino são consideradas inviáveis ou péssimas fontes de água subterrânea.

No estado do Ceará, as regiões onde os recursos hídricos do substrato são notáveis, sendo representadas pelas áreas sedimentares, principalmente na bacia do Salgado na região do cariri cearense. Dadas as características de porosidade e permeabilidade das rochas sedimentares, as mesmas tornam-se excelentes corpos armazenadores.

Há também bacias sedimentares como as de Iguatu, do Apodi, do Araripe e da Ibiapaba. Além dos aquíferos existentes nestas conformações, existem áreas de aluviões, e o sedimento costeiro que é formado por sistemas dunas, paleodunas e formação barreiras.

#### 4 METODOLOGIA

A metodologia adotada no presente trabalho constituiu-se das etapas empregadas para a realização da análise das características geológico-geotécnicas das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH por meio de técnicas de geoprocessamento, visando a orientação na construção de barragens no território cearense, e estão detalhadas a seguir.

- 1) Realização de pesquisa bibliográfica;
- 2) Caracterização do meio físico da área de estudo;
- 3) Delimitação da área de estudo e coleta de dados relativos ao caráter técnico das barragens selecionadas;
- 4) Organização do acervo obtido – análise dos dados coletados;
- 5) Elaboração de mapeamento através do uso de ferramentas computacionais tais como o programa ArcGIS®.

A pesquisa bibliográfica contempla aspectos referentes às barragens, destacando as suas fundações, assim como aspectos inerentes aos solos, como classificação, origem, permeabilidade e resistência ao cisalhamento.

Para a caracterização do meio físico, são observados, entre outros, aspectos de localização, clima, vegetação e hidrologia, geomorfologia, geologia e hidrogeologia do Estado do Ceará.

A área de estudo é delimitada através das 23 barragens contempladas pelos programas PROURB-RH (16 barragens) e PROGERIRH (7 barragens), considerando que estas reúnem a maior quantidade de informações pertinentes às características dos solos locais, que interessam para o desenvolvimento desta pesquisa.

Foram coletados dados da geologia local, do pacote aluvionar, dos ensaios de campo realizados nas fundações das barragens (perda d'água do tipo *Lugeon* e permeabilidade "in situ" de carga constante *Le Franc*), assim como a caracterização dos solos das áreas de empréstimo para as barragens selecionadas.

Os projetos executivos, no qual estão inseridos os estudos geológico-geotécnicos de cada barragem, foram cedidos pela SRH-CE. Estes estudos foram realizados no período compreendido entre os anos de 1995 e 1997.

Embora presentes no acervo digital da SRH-CE, houve obstáculos para obtenção dos dados iniciais, pois para algumas das barragens os dados encontravam-se incompletos, ilegíveis ou até mesmo inexistentes, necessitando de visitas aos órgãos gestores de Recursos Hídricos no Estado do Ceará (SRH-CE e COGERH) para a conclusão da obtenção dos dados.

Os dados coletados referentes às barragens selecionadas foram analisados e organizados através da elaboração de tabelas, gráficos e mapas, e a partir de então, foi possível se fazer um agrupamento referenciado, que representa o material utilizado para o desenvolvimento do presente trabalho.

Dispondo da base de dados da CPRM e através do uso do *software* ArcGIS<sup>®</sup> foi realizada a compilação entre dados gerais disponíveis e dados locais oriundos dos projetos das barragens, resultando no produto final que é a análise das características geológico-geotécnicas dos solos do Estado do Ceará.

#### **4.1 Seleção dos dados (barragens)**

A escolha das 23 barragens utilizadas neste trabalho foi devido à razoável quantidade de informações disponíveis que interessavam para o objetivo do trabalho. Todas elas se encontram concluídas e em operação, além também de evidenciar os projetos PROURB-RH e PROGERIRH pelo pioneirismo e importância ao Estado do Ceará.

Os dados de cada barragem são os referentes à localização, bacia hidrográfica a qual está inserida, rio ou riacho barrado, tipo de barragem construída, capacidade de acumulação de água, altura máxima, órgão executor, fonte de recursos, programa ao qual está vinculada e ano de conclusão da obra. Estes dados estão compilados e agrupados através de tabelas.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam a síntese dos dados compilados.

Os dados dos projetos executivos disponibilizados encontram-se digitalizados, em forma de figura, através do GED – Gerenciamento Eletrônico de Documentos da SRH-CE ou ainda nos estudos originais arquivados na biblioteca da SRH-CE.

Primeiramente foi realizada a coleta, para cada barragem, dos dados de geologia local, pacote aluvionar, ensaios de campo e caracterização das áreas de empréstimo. Estas informações encontravam-se citadas através de imagens, textos, memoriais descritivos e volumes de projetos executivos das referidas obras, que também foram ordenados em tabelas.

As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam os mapas com as localizações das barragens construídas pelo programas PROURB-RH e PROGERIRH.

Tabela 4.1 – Relação de barragens construídas pelo PROURB-RH.

Açude	Município	Coordenada E	Coordenada N	Bacia	Rio/ Riacho Barrado	Tipo de Barragem	Capacidade (milhões de m3)	Altura Máxima	Órgão Executor	Fonte de Recursos	Programa	Conclusão (ano)
1, Angicos	Coreaú	297.936	9.597.909	Coreaú	Riacho Juazeiro	Terra Homogênea	56,10	18,9	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1998
2, Barra Velha	Independência	353.013	9.411.686	Parnaíba	Riacho Santa Cruz	Terra Homogênea	99,50	17,5	SOHIDRA	ESTADO	PROURB-RH	1999
3, Bengué	Aiuaba	373.037	9.270.377	Alto Jaguaribe	Riacho Umbuzeiro	Terra Homogênea	19,60	23,6	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	2000
4, Cachoeira	Aurora	499.653	9.228.394	Salgado	Riacho Caiçara	Terra homogênea	34,30	25,5	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	2000
5, Castro	Itapiúna	507.252	9.495.174	Metropolitana	Rio Castro	Terra Homogênea	63,90	25,9	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1997
6, Cauhipe	Caucaia	514.823	9.586.984	Metropolitana	Riacho Cauhipe	Mista Terra / Enrocamento	11,00	11,9	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1999
7, Flor do Campo	Novo Oriente	314.377	9.383.891	Parnaíba	Rio Poti	Terra Homogênea	111,30	21,1	SOHIDRA	ESTADO	PROURB-RH	1999
8, Gangorra	Granja	293.153	9.649.230	Coreaú	Riacho Gangorra	Terra Homogênea	62,50	20,7	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1999
9, Itaúna	Chaval	258.885	9.651.605	Coreaú	Riacho Timonha	Terra Homogênea	77,50	18,0	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	2001
10, Jerimum	Irauçuba	423.179	9.575.933	Curú	Caxitoré	Terra / Enrocamento	20,50	23,2	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1996
11, Monsenhor Tabosa	Monsenhor Tabosa	387.678	9.468.361	Banabuiú	Quixeramobim	Terra Zoneada	12,10	23,1	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1998
12, Muquém	Cariús	446.673	9.269.274	Alto Jaguaribe	Riacho Muquém	Terra Homogênea	47,60	27,6	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	2000
13, Rosário	Lavras da Mangabeira	490.656	9.239.750	Salgado	Riacho Rosário	Terra Homogênea	47,20	20,8	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	2001
14, Sítios Novos	Caucaia	504.706	9.583.427	Metropolitana	Rio São Gonçalo	Terra Zoneada	123,20	21,5	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1999
15, Souza	Canindé	468.654	9.514.529	Curú	Riacho Juruti	Terra Homogênea	30,80	19,9	SOHIDRA	ESTADO	PROURB-RH	1998
16, Ubaldinho	Cedro	473.550	9.272.400	Salgado	Riacho São Miguel	Terra Homogênea	31,80	17,9	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROURB-RH	1999

Fonte: SRH-CE (2008).

**Tabela 4.2 – Relação de barragens construídas pelo PROGERIRH.**

<b>Açude</b>	<b>Município</b>	<b>Coordenada E</b>	<b>Coordenada N</b>	<b>Bacia</b>	<b>Rio/ Riacho Barrado</b>	<b>Tipo de Barragem</b>	<b>Capacidade (milhões de m3)</b>	<b>Altura Máxima (m)</b>	<b>Órgão Executor</b>	<b>Fonte de Recursos</b>	<b>Programa</b>	<b>Conclusão (ano)</b>
<b>1, Aracoíaba</b>	Aracoíaba	533.307	9.513.324	Metropolitana	Rio Aracoíaba	Barragem de terra seção homogênea	170,70	35,0	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROGERIRH	2002
<b>2, Carmina</b>	Catunda	364.892	9.485.042	Acaraú	Riacho dos Macacos	Terra Homogênea	13,63	19,0	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROGERIRH	2002
<b>3, Catu Cinzento</b>	Aquiraz	565.439	9.559.414	Metropolitana	Riacho Catu	Terra Homogênea	27,13	16,3	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROGERIRH	2002
<b>4, Faé</b>	Quixelô	475.922	9.319.162	Alto Jaguaribe	Riacho Faé	Terra Homogênea	23,40	20,0	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROGERIRH	2004
<b>5, Jenipapeiro</b>	Deputado Irapuan Pinheiro	472.685	9.357.523	Médio Jaguaribe	Riacho Jenipapeiro	Terra Homogênea	17,00	18,0	DNOCS/SRH-CE	ESTADO	PROGERIRH	1997
<b>6, Malcozinhado</b>	Cascavel	577.939	9.545.861	Metropolitana	Riacho Malcozinhado	Terra Homogênea	37,84	18,5	SOHIDRA	ESTADO/BIRD/BNDES	PROGERIRH	2002
<b>7, Pesqueiro</b>	Capistrano	505.614	9.508.234	Metropolitana	Riacho Lagoa Nova	Terra Homogênea	8,20	24,0	SRH-CE/SOHIDRA	PROGERIRH	PROGERIRH	2008

Fonte: SRH-CE (2008).

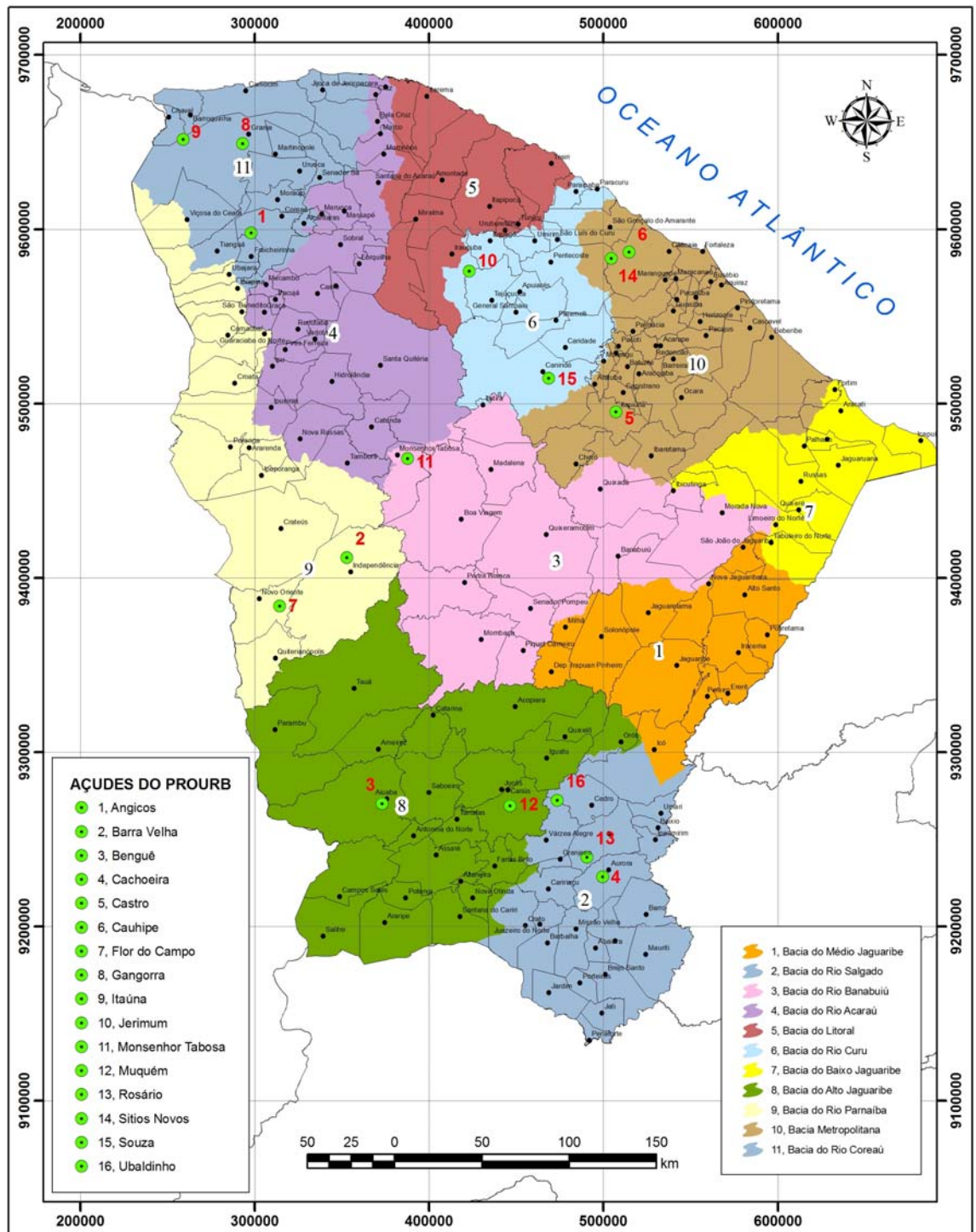


Figura 4.1 – Localização das barragens construídas pelo PROURB-RH no Estado de Ceará.

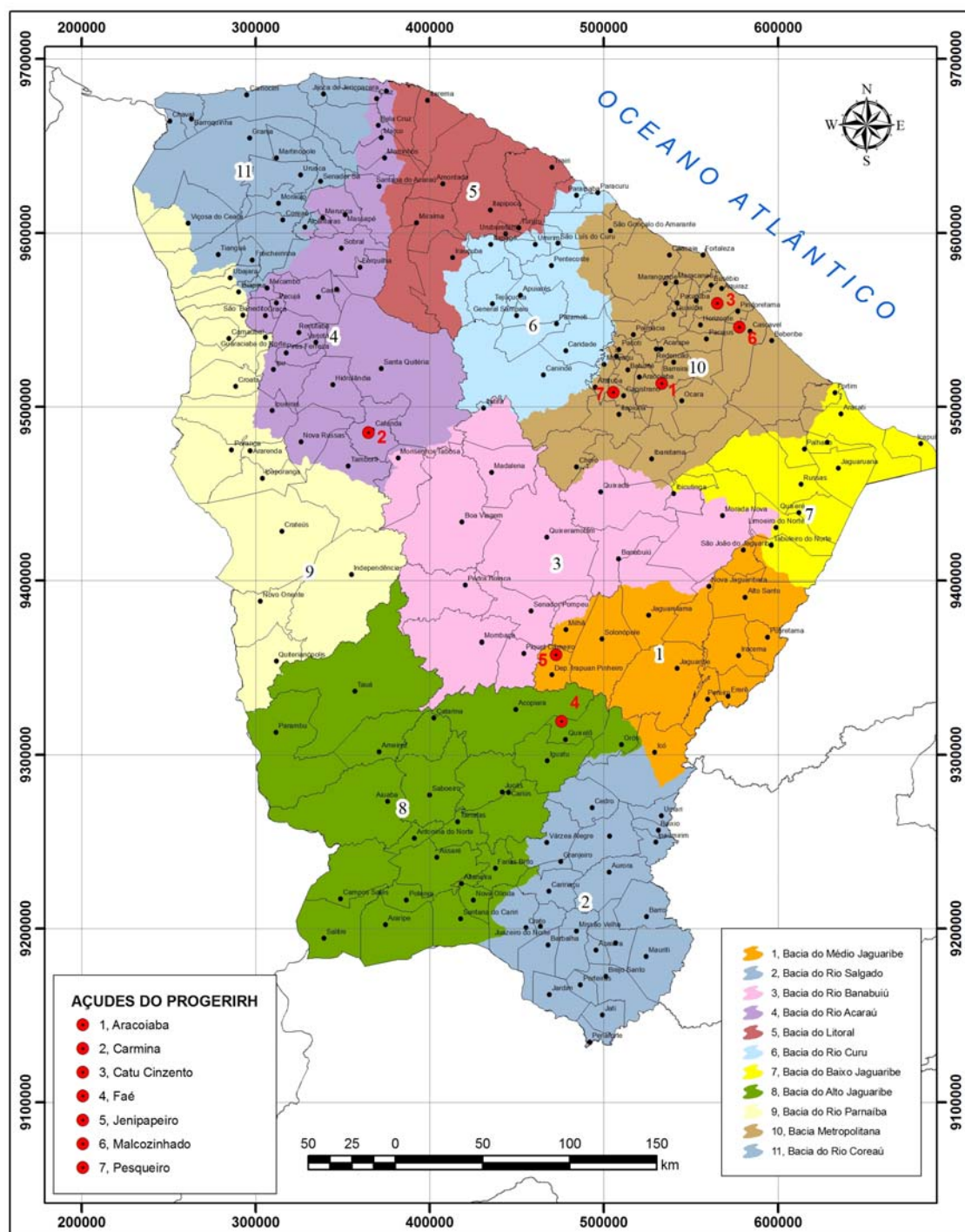


Figura 4.2 – Localização das barragens construídas pelo PROGERIRH no Estado do Ceará.

As informações obtidas no levantamento dos dados estão compiladas nas Tabelas 4.3 a 4.12, que baseiam a elaboração da análise de características geológico-geotécnicas das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH.

**Tabela 4.3 – Geologia local das barragens construídas pelo PROURB-RH.**

<b>Barragem</b>	<b>Geologia Local</b>
1, Angicos	Arenito e arenito quartzítico
2, Barra Velha	Muscovita-Quartzito, biotita-gnaiss porfirítico, quartzo-feldspato-gnaiss e quartzito.
3, Benguê	Rochas metamórficas do tipo gnaiss, e de corpos intrusivos ácidos do tipo granito com textura pegmatítica.
4, Cachoeira	Predominantemente Xisto (Biotitas-Xisto, Biotita-Muscovita-Quartzito-Xisto), por vezes em alguns ocorre veios de quartzo feldspato.
5, Castro	Gnaiss cinza, bandado, com composição mineralógica de máficos, onde predomina a biotita; secundariamente quartzo e feldspato.
6, Cauhipe	Gnaisses dominantes e migmatitos, podendo ocorrer lentes de quartzitos, anfíbolito e calcário cristalino.
7, Flor do Campo	Gnaiss migmatítico e quartzito; ocorre uma combinação de rochas metamórficas representando por uma dominância de xisto, filito e micaxisto seguido de quartzito.
8, Gangorra	Rochas metamórficas do tipo gnaiss.
9, Itaúna	Migmatitos, gnaisses, granitóides e quartzitos.
10, Jerimum	Migmatitos e granitóides mais resistentes.
11, Monsenhor Tabosa	Migmatitos e granitos.
12, Muquém	Anfíbolitos sendo a forma mais comum a lenticular, quando encaixados em migmatitos e em camadas intercaladas em gnaisses.
13, Rosário	Gnaisses, granitos e migmatitos homogêneo e heterogêneo.
14, Sítios Novos	Gnaisses e migmatitos com lentes de quartzitos.
15, Souza	Gnaiss-magmatítico apresentando uma constituição variada.
16, Ubaldinho	Rochas gnaisses-graníticas de textura média e granodiorítica.

**Tabela 4.4 – Geologia local das barragens construídas pelo PROGERIRH.**

<b>Barragem</b>	<b>Geologia Local</b>
1, Aracoiaba	Associação gnáissico-magnetítico admitida como pertencente ao embasamento cristalino.
2, Carmina	Rochas graníticas, mais precisamente granitos e gnaisses diversos.
3, Catu Cinzento	Gnaisses, Migmatitos, material areno-argiloso/siltoso e aluviões
4, Faé	Sem informações
5, Jenipapeiro	Gnaisses bandeados com lentes de anfíbolito e leitos de metacóseos
6, Malcozinhado	Gnaiss, Migmatitos, material areno-argiloso/siltoso e aluviões
7, Pesqueiro	Gnaiss cinza, bandado, com composição mineralógica de máficos, onde predomina a biotita, secundariamente quartzo e feldspato.

**Tabela 4.5 – Pacote aluvionar das barragens construídas pelo PROURB-RH.**

<b>Barragem</b>	<b>Pacote Aluvionar</b>
1, Angicos	Areia fina e silte (não servindo, portanto, para material filtrante)
2, Barra Velha	Areia grossa na base, areia fina na parte intermediária, e silte areno-argiloso no topo.
3, Benguê	Areia média e grossa superposta por uma camada de areia fina siltosa
4, Cachoeira	Areias mal classificadas, imaturas inconsolidadas de coloração variando de amarelo a creme esbranquiçado, ocorrendo em pequenas frações de silte e argila.
5, Castro	Areia grossa
6, Cauhipe	Areias puras e argilosas.
7, Flor do Campo	Areias puras e sedimentos argilosos.
8, Gangorra	Variando entre areias finas e médias a siltes e argilas compactadas com pedregulhos de seixos
9, Itaúna	Areias puras e sedimentos argilosos.
10, Jerimum	-
11, Monsenhor Tabosa	Areias finas a grosseira, de cores variadas, incluindo cascalhos, seixos, calhaus e blocos.
12, Muquém	Areia fina a grosseira, de cores variadas, incluindo cascalhos com tamanhos até matacão e argilas com matéria orgânica em decomposição.
13, Rosário	Siltes arenosos e areno-argilosos com compactidade variando de pouco a medianamente compactos
14, Sítios Novos	Areias puras e sedimentos argilosos
15, Souza	Areia fina a grossa.
16, Ubaldinho	Areias, siltes e argilas.

**Tabela 4.6 – Pacote aluvionar das barragens construídas pelo PROGERIRH.**

<b>Barragem</b>	<b>Pacote Aluvionar</b>
1, Aracoiaba	Areia médio/fina na parte superior e areia grossa e cascalho na base.
2, Carmina	Areias quartzosas de granulometria grossa a conglomerática verificadas na calha do riacho e areias finas a argilosas nas áreas fora da calha principal.
3, Catu Cinzento	Areia fina siltosa cinza variando de pouco a medianamente compacta
4, Faé	-
5, Jenipapeiro	Areias finas mal selecionadas e silte areno-argiloso de cor cinza clara a escura
6, Malcozinhado	Areia fina siltosa variando de fofa a medianamente compacta
7, Pesqueiro	Areia mais grosseira na base e frações siltico-argilosos no topo

**Tabela 4.7 – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROURB-RH.**

Barragem	Ensaio de campo nas fundações das barragens	
	Perda d'água ( <i>Lugeon</i> ) – l/min/m/kg/cm <sup>2</sup>	Permeabilidade “in situ” carga constante <i>Le Franc</i> – k (cm/s)
1, Angicos	0 a 15,0	$7,0 \times 10^{-5}$ a $2,0 \times 10^{-3}$
2, Barra Velha	0 a 18,0	$8,0 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
3, Benguê	0 a 04,0	$8,8 \times 10^{-5}$ a $1,1 \times 10^{-4}$
4, Cachoeira	0 a 18,0	$8,1 \times 10^{-6}$ a $8,4 \times 10^{-4}$
5, Castro	9,0 a 13,0	$1,6 \times 10^{-6}$ a $5,3 \times 10^{-4}$
6, Cauhipe	0 a 18,0	$8,7 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
7, Flor do Campo	0,5 a 08,0	$9,0 \times 10^{-5}$ a $2,8 \times 10^{-2}$
8, Gangorra	0,5 a 02,0	$4,5 \times 10^{-6}$ a $3,6 \times 10^{-4}$
9, Itaúna	0 a 18,0	$7,0 \times 10^{-4}$ a $1,1 \times 10^{-3}$
10, Jerimum	0 a 02,0	$9,0 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-3}$
11, Monsenhor Tabosa	0 a 74,0	-
12, Muquém	0 a 01,0	$6,2 \times 10^{-4}$ a $1,0 \times 10^{-2}$
13, Rosário	0,5 a 33,0	$2,3 \times 10^{-5}$ a $9,9 \times 10^{-4}$
14, Sítios Novos	0 a 18,0	$8,7 \times 10^{-6}$ a $1,0 \times 10^{-4}$
15, Souza	-	-
16, Ubaldinho	0 a 01,0	$1,2 \times 10^{-7}$ a $3,1 \times 10^{-4}$

**Tabela 4.8 – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROGERIRH.**

Barragem	Ensaio de campo	
	Perda d'água ( <i>Lugeon</i> ) – l/min/m/kg/cm <sup>2</sup>	Permeabilidade “in situ” carga constante <i>Le Franc</i> – k (cm/s)
1, Aracoiaba	-	$6,5 \times 10^{-6}$ a $7,0 \times 10^{-3}$
2, Carmina	-	-
3, Catu Cinzento	-	$1,5 \times 10^{-6}$ a $1,5 \times 10^{-3}$
4, Faé	-	-
5, Jenipapeiro	-	-
6, Malcozinhado	0 a 01,0	$1,5 \times 10^{-6}$ a $1,5 \times 10^{-3}$
7, Pesqueiro	0 a 02,0	$9,7 \times 10^{-5}$ a $1,2 \times 10^{-4}$

**Tabela 4.9 – Caracterização das áreas de empréstimo (material terroso) das barragens construídas pelo PROURB-RH.**

Barragem	Caracterização das Áreas de Empréstimos (Material Terroso)			
	Tipo	Cisalhamento Direto Lento		Permeabilidade de Carga Variável-k (cm/s)
		Coesão – c' (kgf/cm <sup>2</sup> ) <sup>18</sup>	Atrito - φ' (graus)	
1, Angicos	CL e ML	0,14	33,4	5,1 x 10 <sup>-8</sup> a 5,1 x 10 <sup>-7</sup>
2, Barra Velha	SC, SC-CL e SM-SC	-	-	-
3, Benguê	SM	0,07 a 0,88	32,8 a 35,8	1,1 x 10 <sup>-6</sup> a 2,1 x 10 <sup>-6</sup>
4, Cachoeira	SC	0 a 0,04	35,9 a 41,2	4,0 x 10 <sup>-7</sup> a 8,5 x 10 <sup>-7</sup>
5, Castro	SC e SC-CL	0,22 a 0,36	22,0 a 31,0	1,7 x 10 <sup>-5</sup> a 1,1 x 10 <sup>-4</sup>
6, Cauhipe	SM-SC	0,34 a 0,54	23,1 a 28,0	4,5 x 10 <sup>-8</sup> a 3,2 x 10 <sup>-6</sup>
7, Flor do Campo	SC, SC-CL e SM-SC	0,64	25,0	9,3 x 10 <sup>-9</sup> a 2,4 x 10 <sup>-7</sup>
8, Gangorra	SC	0,04 a 0,15	28,6 a 31,1	1,1 x 10 <sup>-6</sup> a 2,1 x 10 <sup>-6</sup>
9, Itaúna	CL	0 a 0,04	35,6 a 36,5	-
10, Jerimum	SC-GC	-	-	1,7 x 10 <sup>-7</sup> a 6,1 x 10 <sup>-7</sup>
11, Monsenhor Tabosa	CL, SC e SM	0,01 a 0,44	21,6 a 33,4	5,5 x 10 <sup>-8</sup> a 1,3 x 10 <sup>-7</sup>
12, Muquém	CL e ML	0 a 0,04	32,8 a 35,8	4,0 x 10 <sup>-7</sup> a 8,5 x 10 <sup>-7</sup>
13, Rosário	CL	0 a 0,04	32,8 a 35,8	-
14, Sítios Novos	SC e SM-SC	0 a 0,24	29,4 a 43,8	1,9 x 10 <sup>-7</sup> a 3,1 x 10 <sup>-5</sup>
15, Souza	CL, SC e SM	-	-	-
16, Ubalzinho	CL	-	-	1,8 x 10 <sup>-7</sup>

**Tabela 4.10 – Caracterização das áreas de empréstimo (material terroso) das barragens construídas pelo PROGERIRH.**

Barragem	Caracterização das Áreas de Empréstimos (Material Terroso)			
	Tipo	Cisalhamento Direto Lento		Permeabilidade de Carga Variável-k (cm/s)
		Coesão – c' (kgf/cm <sup>2</sup> )	Atrito - φ' (graus)	
1, Aracoíaba	CL, SC e SM-SC	0,53	31	-
2, Carmina	SC, SM e SM-SC	-	-	-
3, Catu Cinzento	CL e SC	0,46 a 0,78	28,6 a 31,1	1,8 x 10 <sup>-7</sup> a 3,9 x 10 <sup>-7</sup>
4, Faé	-	-	-	-
5, Jenipapeiro	-	-	-	-
6, Malcozinhado	SC e SM	0,34 a 0,54	28,6 a 31,1	-
7, Pesqueiro	CL	-	-	2,6 x 10 <sup>-7</sup> a 4,4 x 10 <sup>-7</sup>

<sup>18</sup> 1 Kgf/cm<sup>2</sup> = 98,0665 kPa.

**Tabela 4.11 – Caracterização das áreas de empréstimo (material granular e pétreo) das barragens construídas pelo PROURB-RH.**

Barragem	Caracterização das Áreas de Empréstimos		
	Material Granular		Material Pétreo
	Tipo	Permeabilidade de Carga Constante- k (cm/s)	
1, Angicos	SP	-	Gradação: B Los Angeles: 23,5 %
2, Barra Velha	Areia grossa à média (SP)	$1,7 \times 10^{-1}$ a $2,3 \times 10^{-1}$	Quartzito com graduação: B Los Angeles: 20,4 a 21,6 %
3, Benguê	Areia fina a média (SP)	$2,4 \times 10^{-5}$ a $2,1 \times 10^{-3}$	Gnaisse granítico
4, Cachoeira	SP	-	Xisto com graduação: B Los Angeles: 32,8 a 33,3 %
5, Castro	-	-	Gnaisse migmatizado
6, Cauhipe	SW	-	Gnaisse pouco fraturado Gradação: B Los Angeles: 32,8 a 33,3 %
7, Flor do Campo	SP	$2,7 \times 10^{-2}$ a $5,7 \times 10^{-2}$	Quartzito com graduação: A Los Angeles: 14,0 a 18,0 %
8, Gangorra	Areia média a grossa (SW)	-	Gnaisse de elevada resistência ao desgaste e abrasão
9, Itaúna	SP	-	Quartzito com graduação: A Los Angeles: 11,0 a 12,0 %
10, Jerimum	SC e GC	-	-
11, Monsenhor Tabosa	SP	$1,7 \times 10^{-1}$ a $1,8 \times 10^{-1}$	Gradação: B Los Angeles: 33,7 a 36,0 %
12, Muquém	SM e SP	$1,9 \times 10^{-5}$ a $2,5 \times 10^{-5}$	Gnaisse com graduação: A Los Angeles: 11,0 a 12,0 %
13, Rosário	SW	$5,3 \times 10^{-2}$ a $8,7 \times 10^{-2}$	Gnaisse xistoso Los Angeles: 22,0 a 24,0 %
14, Sítios Novos	SP	$1,1 \times 10^{-1}$ a $1,4 \times 10^{-1}$	Gradação: B Los Angeles: 32,8 a 33,3 %
15, Souza	-	-	-
16, Ubaldinho	Areia média a grossa (SP)	-	Gnaisse granítico bastante compacto

**Tabela 4.12 – Caracterização das áreas de empréstimo (material granular e pétreo) das barragens construídas pelo PROGERIRH.**

Barragem	Caracterização das Áreas de Empréstimos		
	Material Granular		Material Pétreo
	Tipo	Permeabilidade de Carga Constante- k(cm/s)	
Aracoiaba	Areia grossa (SP)	$4,7 \times 10^{-2}$ a $3,7 \times 10^{-1}$	Quartzo e quartzito Gradação: B Los Angeles: 30,6 a 32,0 %
Carmina	Areias de granulometria média a grossa (SW)	$2,5 \times 10^{-3}$ a $2,5 \times 10^{-2}$	Gnaisse
Catu Cinzento	Areia média a grossa mal graduada (SP)	$1,2 \times 10^{-2}$ a $1,5 \times 10^{-2}$	Gnaisse com graduação: B Los Angeles: 27,0 a 28,8 %
Faé	-	-	-
Jenipapeiro	-	-	-
Malcozinhado	Areia média a grossa mal graduada (SP)	$7,2 \times 10^{-3}$ a $7,7 \times 10^{-3}$	Gnaisse Los Angeles: 30,6 a 32,0 %
Pesqueiro	Areia média a grossa mal graduada (SP)	-	Gnaisse Los Angeles: 32,8 %

## 4.2 Métodos

Dispondo das informações gerais obtidas no levantamento de material e da base de dados georreferenciados da CPRM, foram gerados bancos de dados, que serviram de atributos, necessários para a utilização do *software* ArcGIS® utilizado neste trabalho como ferramenta computacional. Estes bancos de dados foram transformados em representações gráficas que caracterizam de acordo com cada atributo os mapas mostrados nos resultados desta dissertação.

O ArcGIS® foi utilizado neste trabalho nos processos de criação e edição de bases de dados gráficos, edição de ambientes de tolerâncias e edição de atributos.

Para cada grupo de atributos que possuem as mesmas características foi atribuído uma cor distinta que os caracterizam.

De acordo com os dados obtidos dos levantamentos realizados foram gerados gráficos onde estão apresentados a distribuição percentual dos tipos de solos e rochas no Estado do Ceará.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise das características geológico-geotécnicas apresentada a seguir, traz uma representação gráfica das características dos solos cearenses (geologia, tipologia, permeabilidade, parâmetros obtidos através de ensaios), compilados do levantamento de dados, obtidos a partir dos estudos básicos para a construção de barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH. Neste capítulo apresenta-se o resultado do mapeamento dos seguintes estudos:

(I) Geologia geral das bacias hidrográficas do Estado do Ceará e geologia local oriunda dos projetos executivos das barragens selecionadas;

(II) Permeabilidade das fundações a partir de ensaios de campo, perda d'água do tipo *Lugeon* e permeabilidade "in situ" de carga constante *Le Franc*, realizados nos solos de fundação das barragens;

(III) Caracterização dos materiais terrosos das áreas de empréstimo (jazidas);

(IV) Parâmetros de resistência ao cisalhamento; coesão e ângulo de atrito, obtidos através dos ensaios de cisalhamento direto lento nas áreas de empréstimo de materiais terrosos (jazidas);

(V) Ensaio de permeabilidade nas áreas de empréstimo para materiais terrosos (jazidas);

(VI) Caracterização dos materiais granulares das áreas de empréstimo (areais);

(VII) Ensaio de permeabilidade nas áreas de empréstimo para materiais granulares (areais); e

(VIII) Caracterização dos materiais pétreos das áreas de empréstimo (pedreiras).

## (I) Geologia Geral e Geologia Local.

A partir da Geologia Local, para cada uma das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH, os resultados obtidos através do levantamento de dados dos estudos de base foram comparados com a Geologia Geral, obtida da base de dados georreferenciados da CPRM. Os resultados dessa comparação, produto da sobreposição gráfica das duas geologias, estão apresentadas nas Tabelas 5.1 e 5.2.

**Tabela 5.1** – Comparação entre a Geologia Geral e a Geologia Local das barragens construídas pelo PROURB-RH.

Barragem	Geologia Geral	Geologia Local	Resultado
1, Angicos	Arcóseos e grauvacas	Arenito e Arenito Quartzítico	A Geologia Local e Geral estão apresentando rochas metamórficas, o que garante uma coerência entre as informações.
2, Barra Velha	Paragnaisses e granitóides	Biotita, Feldspato, Gnaiss, Muscovita e Quartzo	Na Geologia Local está apresentado, além de minerais, o Gnaiss (rocha metamórfica), coerente com as informações da Geologia Geral.
3, Benguê	Granitóides	Gnaisses	O Gnaiss (rocha metamórfica) encontrado na Geologia Local pode ser encontrado em Granitóides (rocha ígnea não completa) caracterizadas na Geologia Geral.
4, Cachoeira	Micaxistos, metarritmitos e metavulcânicas	Feldspato, Quartzo e Xisto	A Geologia Local apresenta além de minerais, o Xisto (rocha metamórfica), coerente com as informações da Geologia Geral.
5, Castro	Paragnaisses e granitóides	Feldspato, Gnaiss e Quartzo	A Geologia Local apresenta além de minerais, o Gnaiss (rocha metamórfica), coerente com as informações da Geologia Geral.
6, Cauhipe	Paragnaisses e granitóides	Gnaisses, Migmatitos e Quartzitos	A Geologia Local além do Gnaiss apresenta outras rochas metamórficas, coerente com as informações da Geologia Geral.
7, Flor do Campo	Paragnaisses e granitóides	Gnaisses, Migmatitos e Quartzitos	A Geologia Local além do Gnaiss apresenta outras rochas metamórficas, coerente com as informações da Geologia Geral.
8, Gangorra	Ortognaisses TTG e migmatitos	Gnaisses	O Gnaiss encontrado na Geologia Local está coerente com as informações obtidas na Geologia Geral.
9, Itaúna	Ortognaisses TTG e migmatitos	Gnaisses, Granitóides, Migmatitos e Quartzitos	Além dos Gnaisses, Migmatitos e Quartzitos (rochas metamórficas) pode-se observar a presença de Granitóides (rochas ígneas) encontrada na Geologia Local, sendo que na Geologia Geral esta ocorrência não está prevista. Como está próxima a uma região de transição esta ocorrência é justificável.
10, Jerimum	Granitos, migmatitos e paraderivadas	Granitóides e Migmatitos	Tanto na Geologia Local quanto na Geologia Geral são mostradas rochas metamórficas e ígneas, o que confere uma coerência entre as informações obtidas.
11, Monsenhor Tabosa	Granitóides	Granitos e Migmatitos	Além do Granito (rocha ígnea), os Migmatitos (rochas metamórficas) da Geologia Local podem ser encontrados em Granitóides (rochas ígneas não completas) caracterizada na Geologia Geral.

**Tabela 5.1** – Comparação entre a Geologia Geral e a Geologia Local das barragens construídas pelo PROURB-RH. – (cont.).

Barragem	Geologia Geral	Geologia Local	Resultado
12, Muquém	Micaxistos, metamigmatitos e quartzitos	Gnaisses e Migmatitos	Tanto na Geologia Local quanto na Geologia Geral são mostradas rochas metamórficas, o que confere uma coerência entre as informações obtidas.
13, Rosário	Micaxistos, quartzitos e metavulcanitos	Gnaisses, Granitos e Migmatitos	Tanto na Geologia Local quanto na Geologia Geral são mostradas rochas metamórficas e ígneas o que confere uma coerência entre as informações obtidas
14, Sítios Novos	Paragnaisses e granitóides	Gnaisses, Migmatitos e Quartzitos	A Geologia Local, além do Gnaisse, apresenta outras rochas metamórficas, portanto, está coerente com as informações obtidas na Geologia Geral.
15, Souza	Paragnaisses e granitóides	Gnaisses	O Gnaisse encontrado na Geologia Local está coerente com as informações obtidas na Geologia Geral.
16, Ubaldinho	Ortognaisses tonalito-granodioríticos, localmente trondhjemíticos	Gnaisses	O Gnaisse encontrado na Geologia Local está coerente com as informações obtidas na Geologia Geral.

**Tabela 5.2** – Comparação entre a Geologia Geral e a Geologia Local das barragens construídas pelo PROGERIRH.

Barragem	Geologia Geral	Geologia Local	Resultado
1, Aracoíaba	Paragnaisses e granitóides	Gnaisses	O Gnaisse encontrado na Geologia Local está coerente com as informações obtidas na Geologia Geral.
2, Carmina	Granitos, migmatitos e paraderivadas	Gnaisses	O Gnaisse (rocha metamórfica) encontrado na Geologia Local está coerente com as informações obtidas na Geologia Geral que apresenta rochas ígneas e metamórficas.
3, Catu Cinzento	Arenitos e conglomerados	Gnaisses, Migmatitos e material areno-argiloso	Tanto na Geologia Local quanto na Geologia Geral são mostradas rochas metamórficas e materiais sedimentares, o que confere uma coerência entre as informações obtidas.
4, Faé	Seqüência plutono-vulcanossedimentar	-	-
5, Jenipapeiro	Seqüência plutono-vulcanossedimentar	Gnaisses	O Gnaisse encontrado na Geologia Local está coerente com as informações obtidas na Geologia Geral.
6, Malcozinhado	Arenitos e conglomerados	Gnaisses, Migmatitos e material areno-argiloso	Tanto na Geologia Local quanto na Geologia Geral são mostradas rochas metamórficas e sedimentares, o que confere uma coerência entre as informações obtidas.
7, Pesqueiro	Paragnaisses e granitóides	Feldspato, Gnaisse e Quartzo	A Geologia Local apresenta além de minerais, o Gnaisse (rocha metamórfica), coerente com as informações da Geologia Geral.

Devido à ausência de dados sobre a geologia local da barragem de Faé, não foi possível apresentar conclusão a respeito deste estudo especificamente.

No que diz respeito à sobreposição das duas geologias, de uma maneira geral os dados obtidos da geologia local estão coerentes com as informações obtidas da geologia geral. Isto significa que os dados dos estudos geológicos no local de cada barragem reforçam a confiabilidade da geologia geral, como também contribuem para o detalhamento desta.

Somente para a barragem de Itaúna as informações não corresponderam, no entanto, isto se justifica por sua localização estar próxima a uma região de transição.

Os mapeamentos da Geologia Geral das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará (Figura 5.1) e da Geologia Local das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH (Figura 5.2) estão ilustrados a seguir.



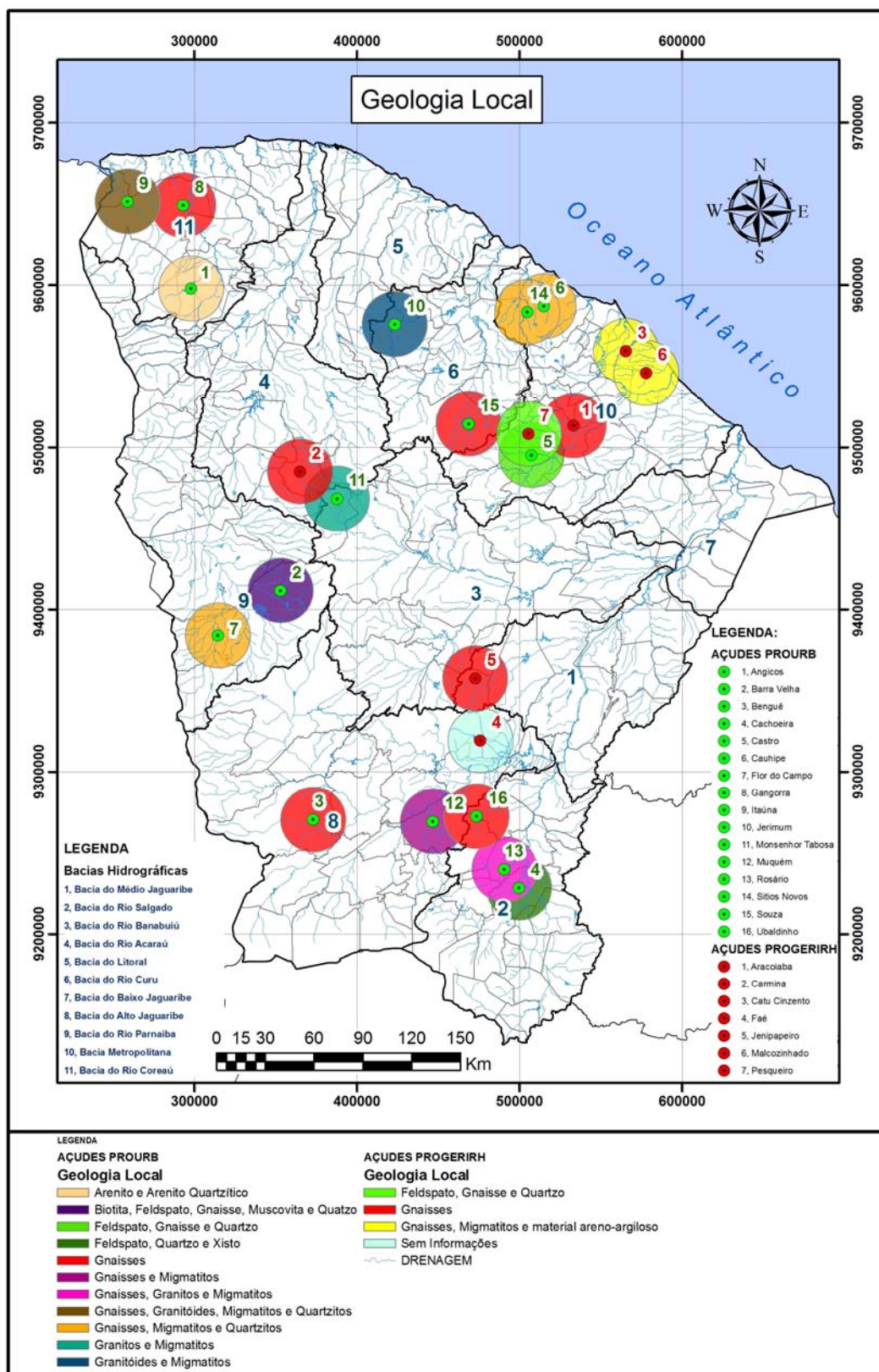


Figura 5.2 – Geologia Local das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH.

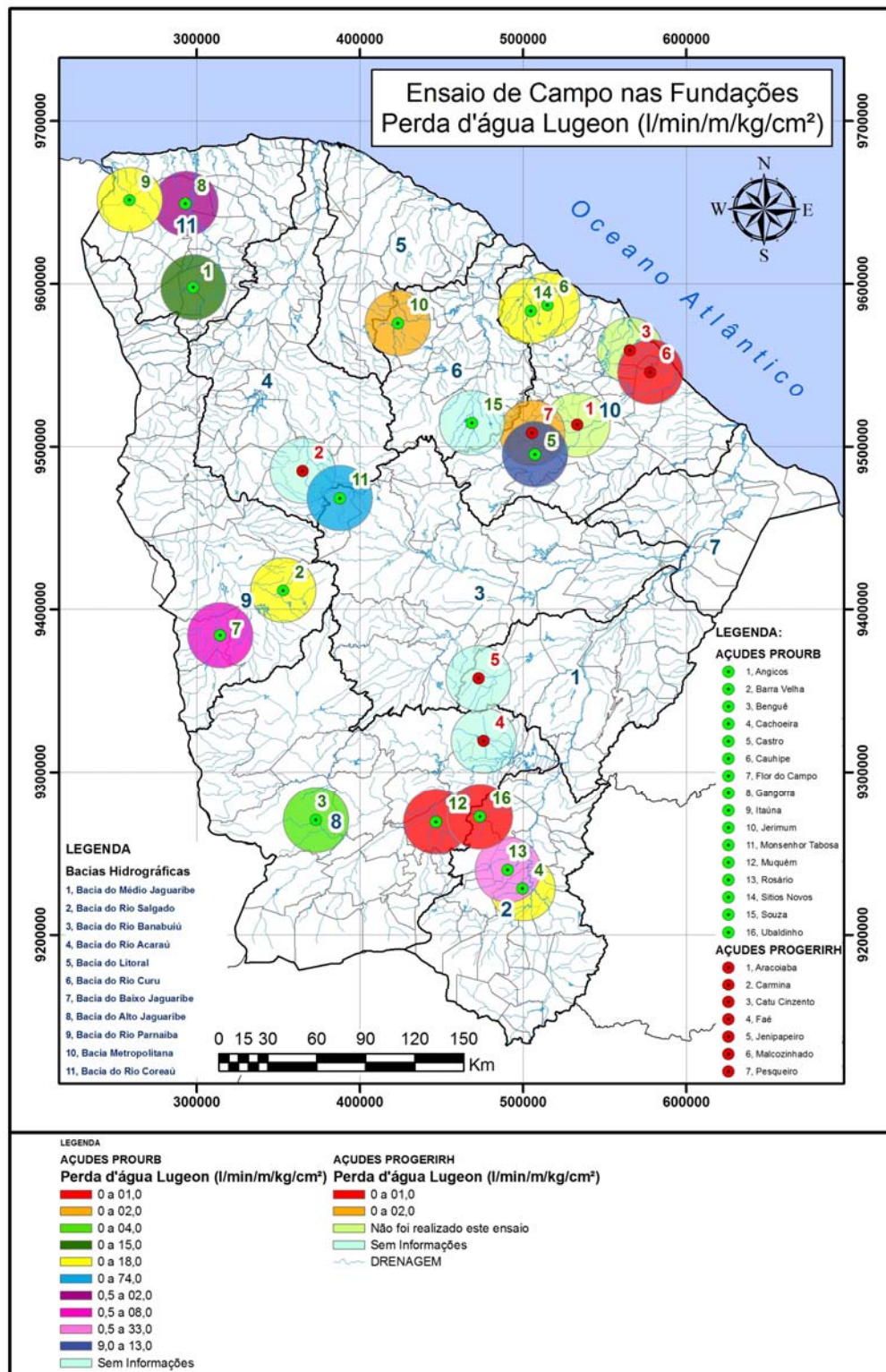
(II) Ensaio de Permeabilidade das fundações *Lugeon* e *Le Franc*.

Os estudos de permeabilidade efetuados tiveram como objetivo a avaliação dos valores das vazões percoladas pelo solo de fundação, com vistas ao dimensionamento do tipo de fundação indicada para cada caso, como também para definir a necessidade ou não de tratamento de fundação.

O ensaio de perda d'água *Lugeon* consiste em medir a vazão de água injetada sob pressão no interior do maciço rochoso, através de um trecho de um furo de sondagem, com o objetivo de determinar a permeabilidade e o comportamento da rocha frente à percolação de água pelas fissuras da camada ensaiada. O resultado desse ensaio é expresso em função do comprimento unitário do trecho ensaiado e representa a perda d'água específica do maciço, a qual é medida em L/min/m/kg/cm<sup>2</sup>. O ensaio mostra-se satisfatório para avaliar a condutividade hidráulica da rocha e investigar a sua injetabilidade.

Para a elaboração dos estudos de permeabilidade das fundações *Le Franc* foi adotado uma escala de grandeza de ordem 10<sup>1</sup>, e observou-se que o intervalo do coeficiente de permeabilidade (k) está variando entre 10<sup>-7</sup> e 10<sup>-2</sup>. Isto constata que nas barragens levantadas existem fundações que são pouco permeáveis como também há fundações que são muito permeáveis. Nota-se que esta faixa de intervalo de k vai desde areias muito finas e siltes (ou mistura de ambas e argila) até areias puras.

Os mapeamentos dos resultados dos ensaios de perda d'água *Lugeon* e permeabilidade "in situ" de carga constante *Le Franc* nas fundações das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 5.3 e 5.4.



**Figura 5.3** – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Perda d'água Lugeon.

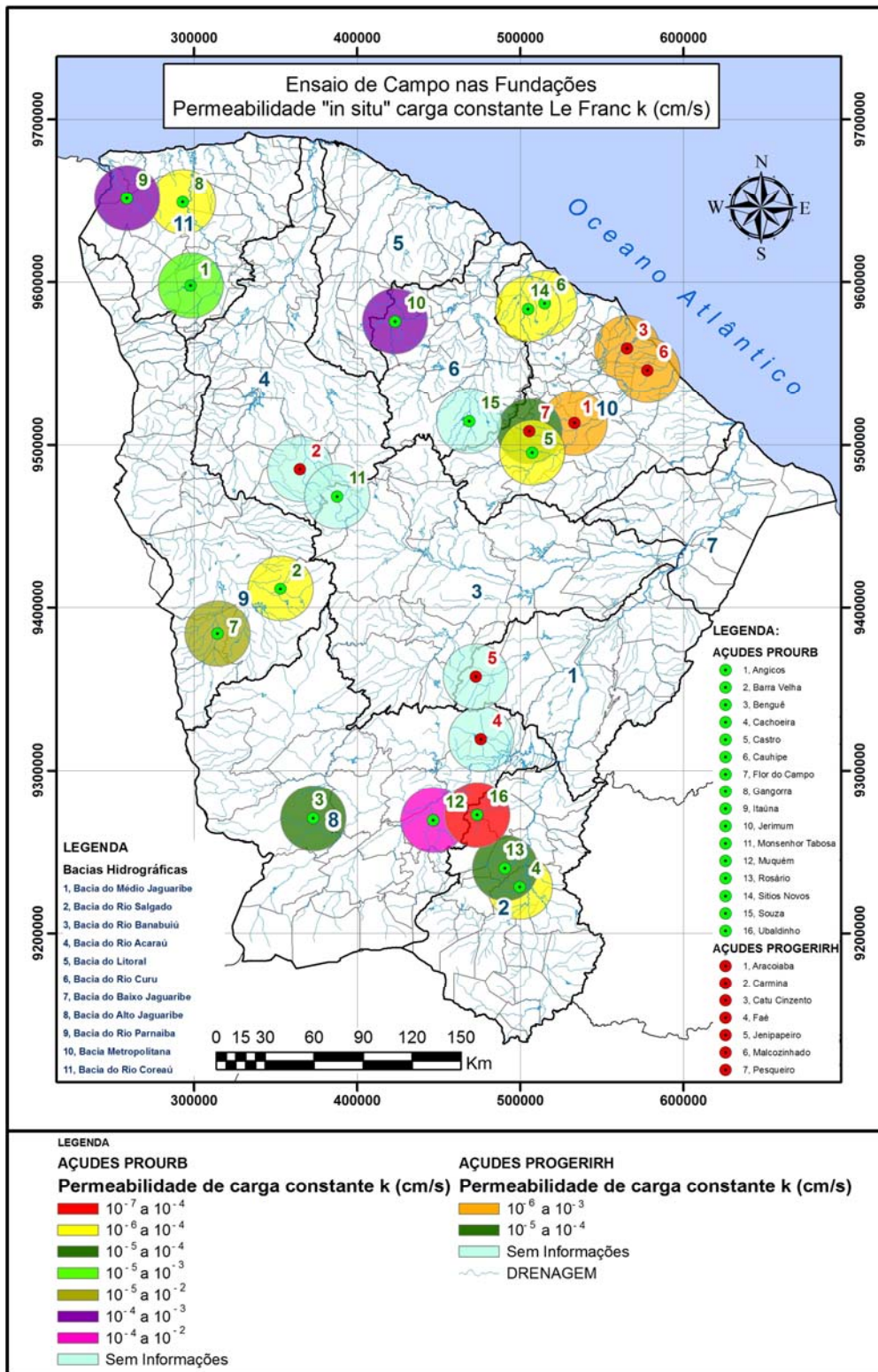


Figura 5.4 – Ensaio de campo nas fundações das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Permeabilidade “in situ” de carga constante *Le Franc*.

## (III) Caracterização dos materiais terrosos das áreas de empréstimo (jazidas).

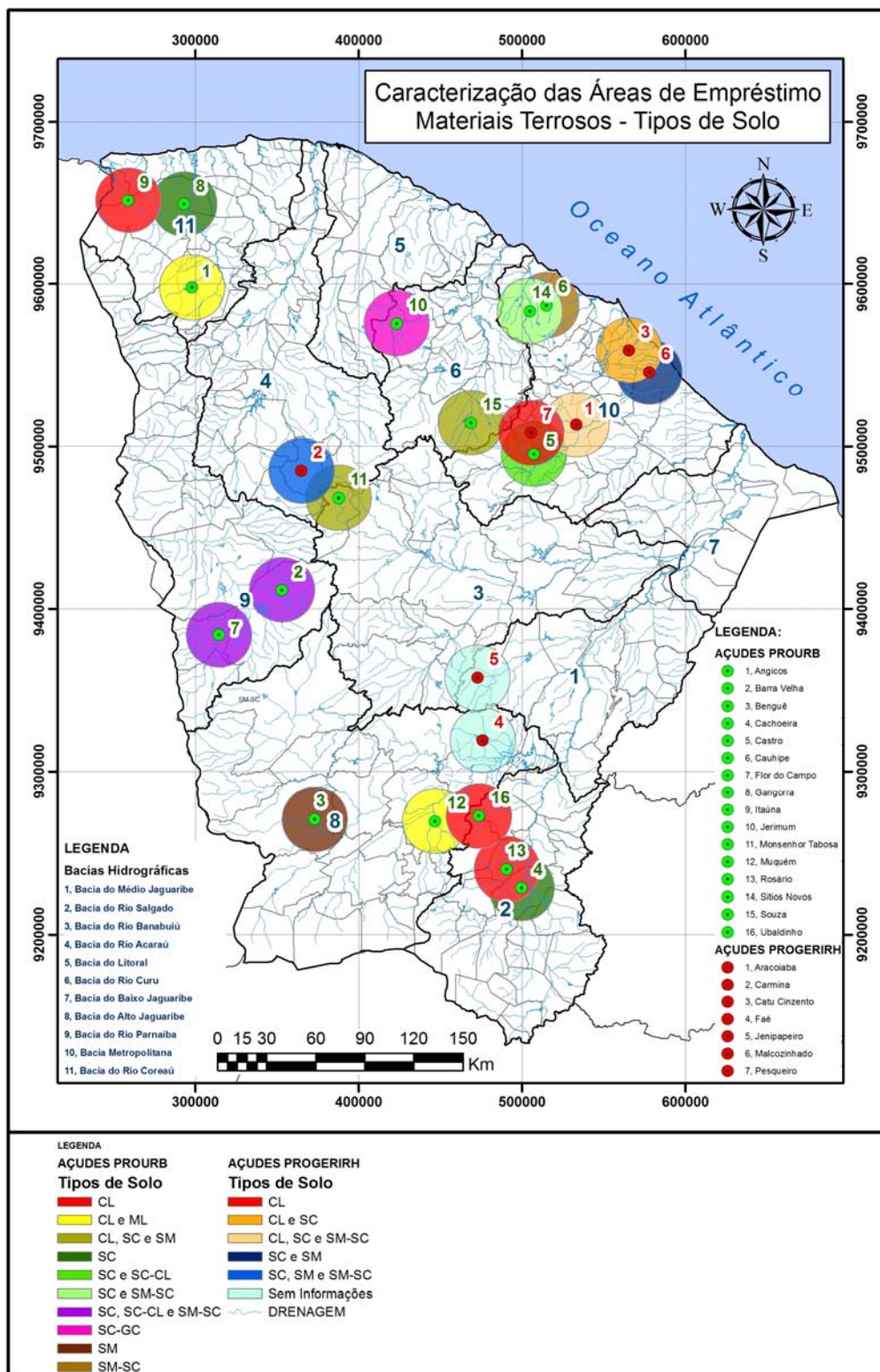
A partir da tipologia dos materiais terrosos disponíveis nas áreas de empréstimos das barragens selecionadas para este trabalho, foi traçado um perfil de como se apresenta a distribuição destes solos por Bacia Hidrográfica do Estado do Ceará. Essa distribuição está apresentada na Tabela 5.3.

Como o número de amostras obtidos através do levantamento de dados dos estudos de base das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH não foi suficiente para cobrir todo o Estado, as Bacias Hidrográficas do Médio e Baixo Jaguaribe não apresentam resultados a respeito deste estudo especificamente.

**Tabela 5.3** – Tipologia dos materiais terrosos disponíveis nas Áreas de Empréstimos das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Tipologia dos materiais terrosos disponíveis na Área de Empréstimo</b>
1, Bacia do Médio Jaguaribe	-
2, Bacia do Rio Salgado	CL e SC
3, Bacia do Rio Banabuiú	CL, SC e SM
4, Bacia do Rio Acaraú	CL, SC e SM
5, Bacia do Litoral	GC e SC
6, Bacia do Rio Curu	CL, GC, SC e SM
7, Bacia do Baixo Jaguaribe	-
8, Bacia do Alto Jaguaribe	CL, ML e SM
9, Bacia do Rio Parnaíba	CL, SC, e SM
10, Bacia do Metropolitana	CL, SC e SM
11, Bacia do Rio Coreaú	CL, ML e SC

O mapeamento com a caracterização das áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH está ilustrado na Figura 5.5.



**Figura 5.5** – Caracterização das áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Tipos de solo.

#### (IV) Parâmetros de resistência ao cisalhamento.

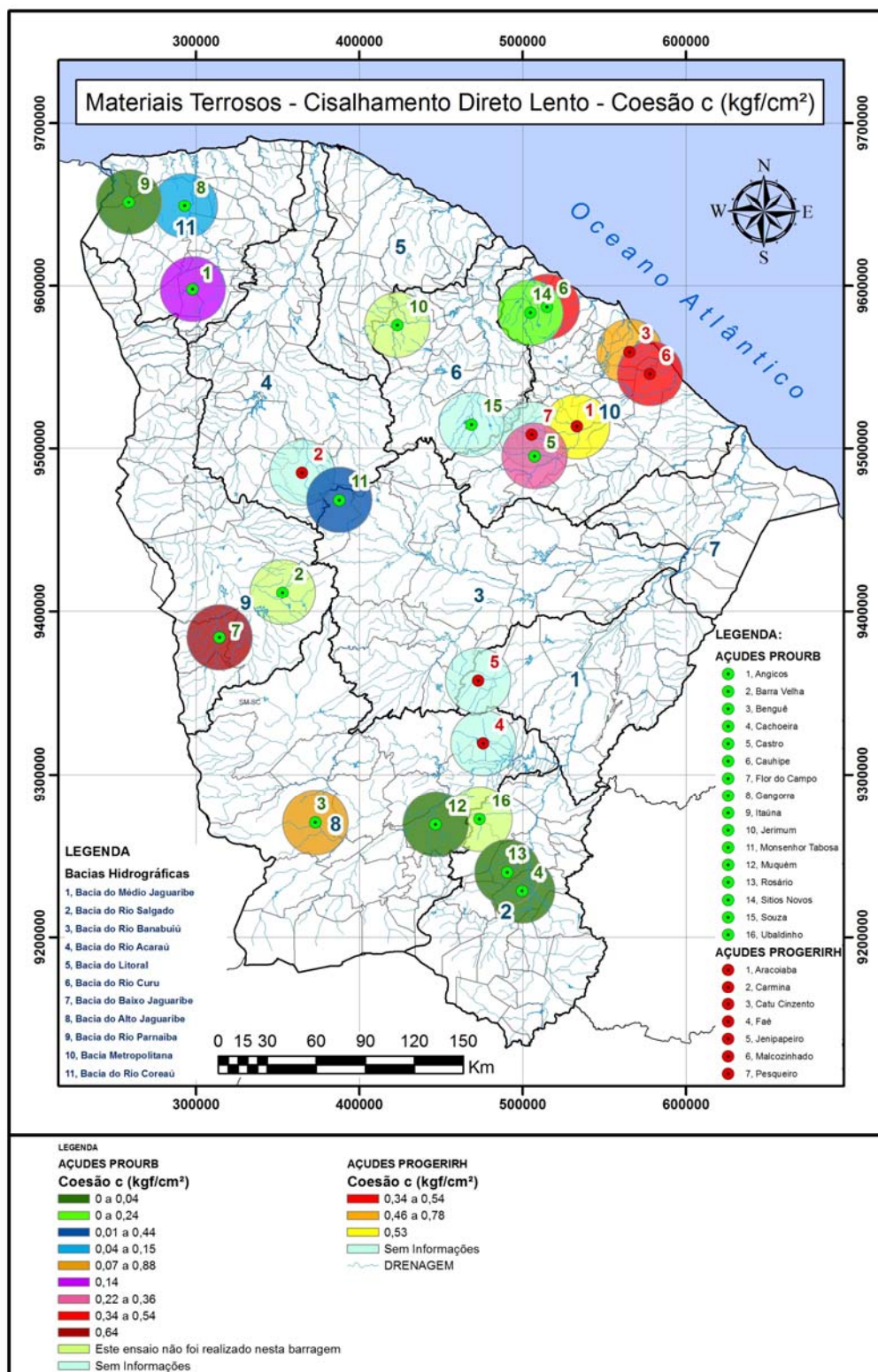
Os estudos baseados nos ensaios de resistência ao cisalhamento do solo apresentam-se como sendo de grande importância para a tomada de decisão, na fase de dimensionamento, em projetos de barragens.

A estabilidade de taludes do maciço da barragem de terra (montante e jusante) está diretamente ligada à determinação da resistência do solo ao cisalhamento que é conferida pelos parâmetros de coesão ( $c$ ) e ângulo de atrito interno do solo ( $\phi$ ) que são propriedades dos materiais que compõem o aterro compactado, no qual os projetistas se baseiam para a definição da geometria do maciço das barragens.

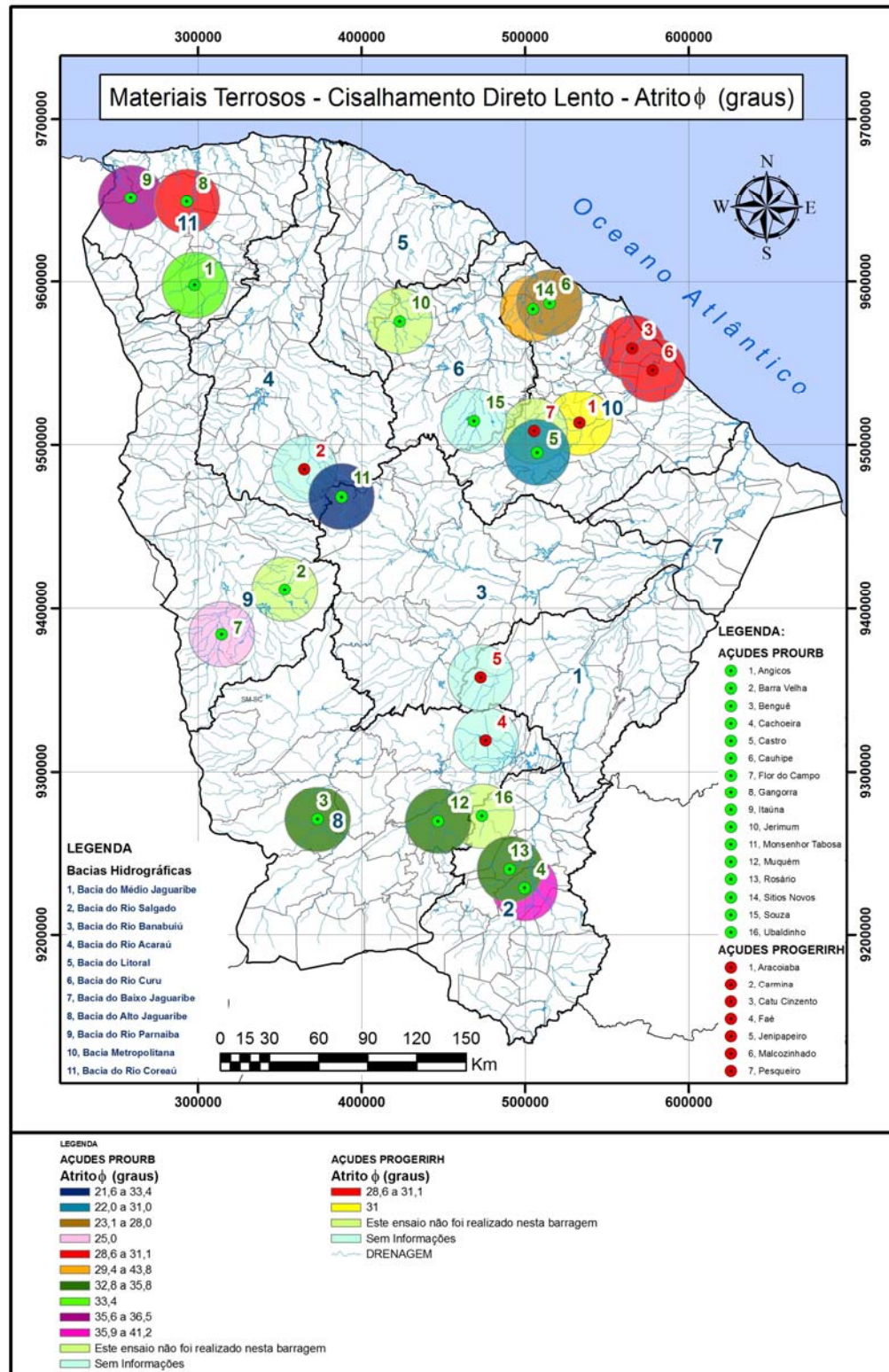
Dentre as barragens estudadas foi observado uma variação entre valores dos parâmetros de coesão indo desde  $c = 0$  até  $c = 0,88 \text{ kgf/cm}^2$ . Esses valores se referem desde solos coesivos  $c \neq 0$  (solos argilosos, solos cimentados e solos saprolíticos pouco intemperizado) até solos não coesivos  $c = 0$  (solo arenoso não cimentado).

Para os valores dos parâmetros de ângulo de atrito interno do solo ( $\phi$ ) a variação vai desde  $\phi = 21,6^\circ$  até  $\phi = 43,8^\circ$ . Esses valores se referem, segundo Das (2007), desde siltes até areias de grãos angulares e compactadas.

Os mapeamentos com os parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) resultados dos ensaios de cisalhamento direto lento, nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH, estão ilustrados, a seguir, nas Figuras 5.6 e 5.7.



**Figura 5.6** – Ensaio de cisalhamento direto lento nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Coesão c.



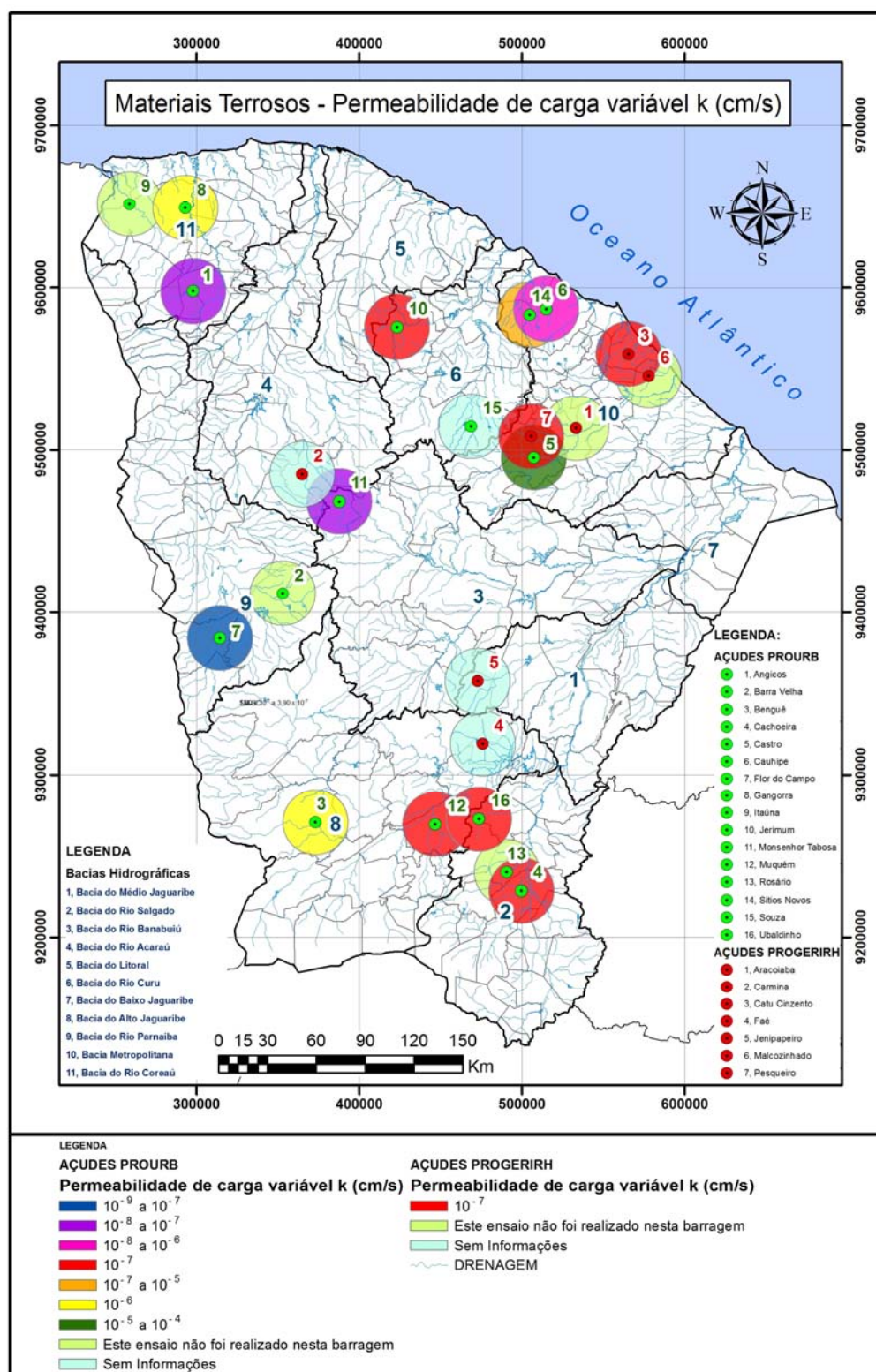
**Figura 5.7** – Ensaio de cisalhamento direto lento nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Ângulo de atrito  $\phi$ .

(V) Ensaio de permeabilidade nas áreas de empréstimo para materiais terrosos (jazidas).

Os estudos de permeabilidade efetuados tiveram como objetivo avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem, com vistas ao dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna.

Para a elaboração dos estudos do coeficiente de permeabilidade  $k$  dos materiais terrosos, foi adotada uma escala de grandeza de ordem  $10^1$ , e observa-se que o intervalo de  $k$  está variando entre  $10^{-9}$  e  $10^{-4}$ . Isto constata que para as barragens levantadas existem solos que são pouco permeáveis como também há solos que são muito permeáveis, evidenciando a necessidade de estudo específico para cada projeto. Nota-se que esta faixa de intervalo de  $k$  vai desde argilas até areias muito finas e siltes (ou mistura de ambos e argila).

O mapeamento dos resultados dos ensaios de permeabilidade de carga variável nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH está apresentado na Figura 5.8.



**Figura 5.8** – Ensaio de permeabilidade de carga variável nas áreas de empréstimo de materiais terrosos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH.

## (VI) Caracterização dos materiais granulares das áreas de empréstimo (areais).

Os estudos dos materiais granulares são de grande importância na construção de barragens, devido ao alto consumo destes insumos, tanto na utilização como agregado miúdo para concretos quanto para elemento drenante e filtrante do sistema de drenagem interna do maciço.

A partir do tipo de material granular da área de empréstimo para cada uma das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH, os resultados foram comparados com os Pacotes Aluvionares, obtidos através do levantamento de dados dos estudos de base. As conclusões obtidas dessa comparação, produto da sobreposição desses dados, estão apresentadas nas Tabelas 5.4 e 5.5.

**Tabela 5.4** – Comparação entre Pacote Aluvionar e Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH.

Barragem	Pacote Aluvionar	Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo	Resultado
1, Angicos	Areia Fina e Silte	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há a presença de areia grossa e média.
2, Barra Velha	Areia Grossa, Areia Fina e Silte	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há a presença de areia média.
3, Benguê	Areia Fina a Grossa	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo não está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que o solo esperado para empréstimo seria o SW.
4, Cachoeira	Areias, Siltos e Argilas	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há uma especificação da areia encontrada.
5, Castro	Areia Grossa	-	-
6, Cauhipe	Areias Puras e Argilosas	SW	O solo SW obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há uma especificação da areia encontrada.
7, Flor do Campo	Areias Puras e Argilosas	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há uma especificação da areia encontrada.
8, Gangorra	Areia Fina e Média, Silte, Argila e Pedregulho	SW	O solo SW obtido na área de empréstimo não está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há a presença de areia grossa.
9, Itaúna	Areias Puras e Argilosas	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há uma especificação da areia encontrada.

**Tabela 5.4 – Comparação entre Pacote Aluvionar e Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH. – (cont.).**

Barragem	Pacote Aluvionar	Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo	Resultado
10, Jerimum	-	SC e GC	-
11, Monsenhor Tabosa	Areia Fina a Grossa	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo não está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que o solo esperado para empréstimo seria o SW.
12, Muquém	Areia Fina a Grossa	SM e SP	Os solos SM e SP obtidos na área de empréstimo não estão dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que o solo esperado para empréstimo seria o SW.
13, Rosário	Areias, Siltes e Argilas	SW	O solo SW obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há uma especificação da areia encontrada.
14, Sítios Novos	Areias Puras e Argilosas	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há uma especificação da areia encontrada.
15, Souza	Areia Fina a Grossa	-	-
16, Ubaldinho	Areias, Siltes e Argilas	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há uma especificação da areia encontrada.

**Tabela 5.5 – Comparação entre Pacote Aluvionar e Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo das barragens construídas pelo PROGERIRH.**

Barragem	Pacote Aluvionar	Tipo de Material Granular da Área de Empréstimo	Resultado
1, Aracoíaba	Areia Fina a Grossa	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo não está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que o solo esperado para empréstimo seria o SW.
2, Carmina	Areia Fina a Grossa	SW	O solo SW obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar.
3, Catu Cinzento	Areia Fina	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há a presença de areia grossa e média.
4, Faé	-	-	-
5, Jenipapeiro	Areias Fina e Silte	-	-
6, Malcozinhado	Areia Fina	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há a presença de areia grossa e média.
7, Pesqueiro	Areia Grossa	SP	O solo SP obtido na área de empréstimo está dentro do previsto no Pacote Aluvionar, visto que não há a presença de areia fina e média.

Devido às ausências de dados sobre o pacote aluvionar das barragens de Jerimum e Faé, e dos tipos de material granular da área de empréstimo das barragens de Castro, Souza e Jenipapeiro não foi possível apresentar resultados a respeito destes estudos especificamente.

De uma forma geral, os dados obtidos dos tipos de materiais granulares da área de empréstimo estão previstos nos estudos dos Pacotes Aluvionares. As barragens de Benguê, Gangorra, Monsenhor Tabosa, Muquém e Aracoiaba, apontaram resultados diferentes do esperado, sendo que, o provável motivo é a intermitência dos rios existentes no Estado do Ceará, que causa variação no processo de formação (deposição) dos aluviões.

A partir da tipologia dos materiais granulares disponíveis nas áreas de empréstimos das barragens utilizadas neste trabalho, foi traçado um perfil de como se apresenta a distribuição destes solos por Bacia Hidrográfica do Estado do Ceará. Essa distribuição está apresentada na Tabela 5.6.

Como o número de amostras obtidos através do levantamento de dados dos estudos de base das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH não foi suficiente para cobrir todo o Estado, as Bacias Hidrográficas do Médio e Baixo Jaguaribe não apresentam resultados a respeito deste estudo especificamente.

**Tabela 5.6** – Tipologia dos materiais granulares disponíveis nas Áreas de Empréstimos das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Tipologia de materiais granulares disponíveis na Área de Empréstimo</b>
1, Bacia do Médio Jaguaribe	-
2, Bacia do Rio Salgado	SP e SW
3, Bacia do Rio Banabuiú	SP
4, Bacia do Rio Acaraú	SP e SW
5, Bacia do Litoral	SC e GC
6, Bacia do Rio Curu	SP, SC e GC
7, Bacia do Baixo Jaguaribe	-
8, Bacia do Alto Jaguaribe	SM e SP
9, Bacia do Rio Parnaíba	SP
10, Bacia do Metropolitana	SP e SW
11, Bacia do Rio Coreaú	SP e SW

Os mapeamentos do Pacote Aluvionar (Figura 5.9) e caracterização das áreas de empréstimo de materiais granulares das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH (Figura 5.10) estão ilustrados a seguir.

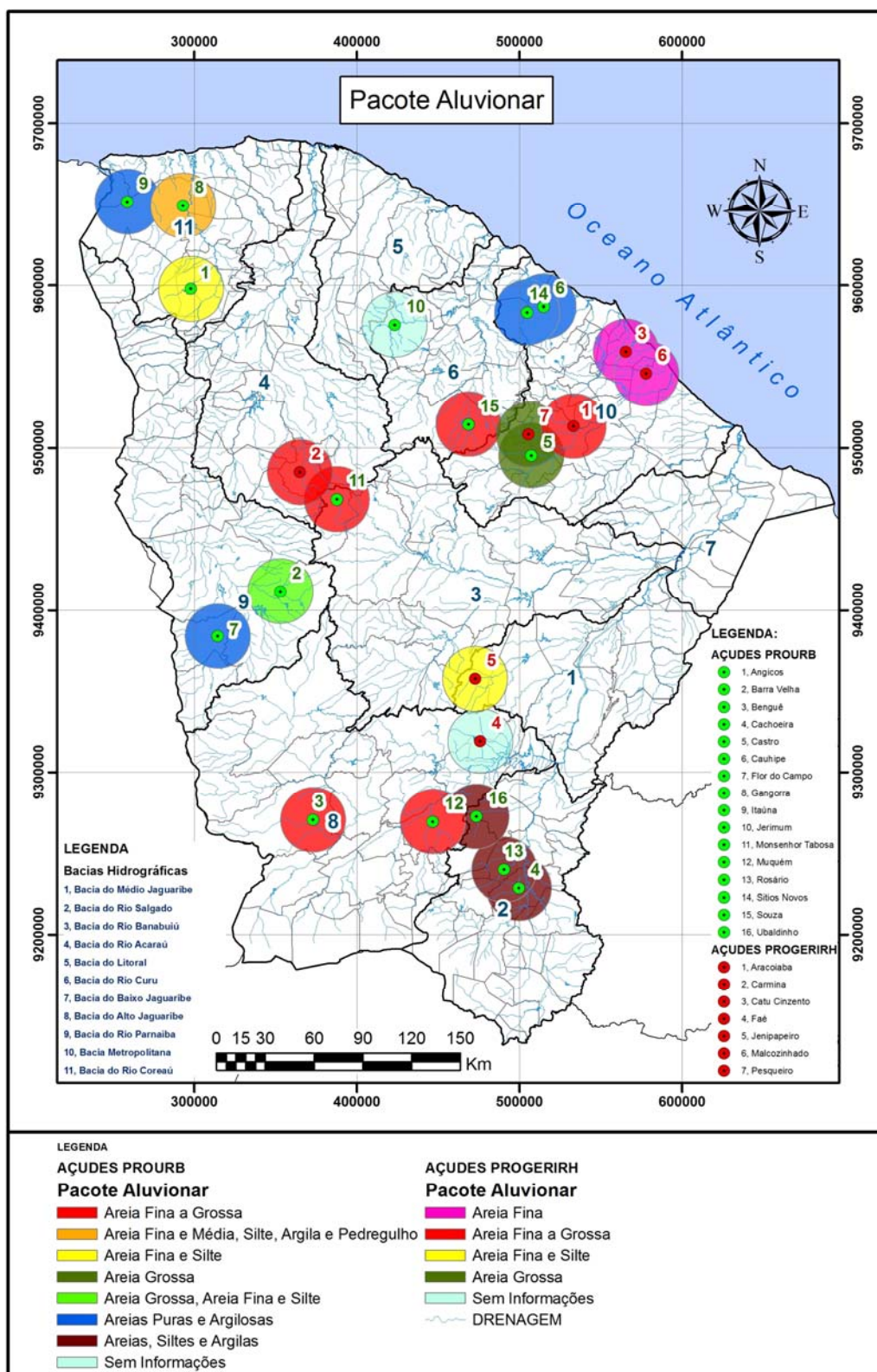


Figura 5.9 – Pacote Aluvionar das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH.

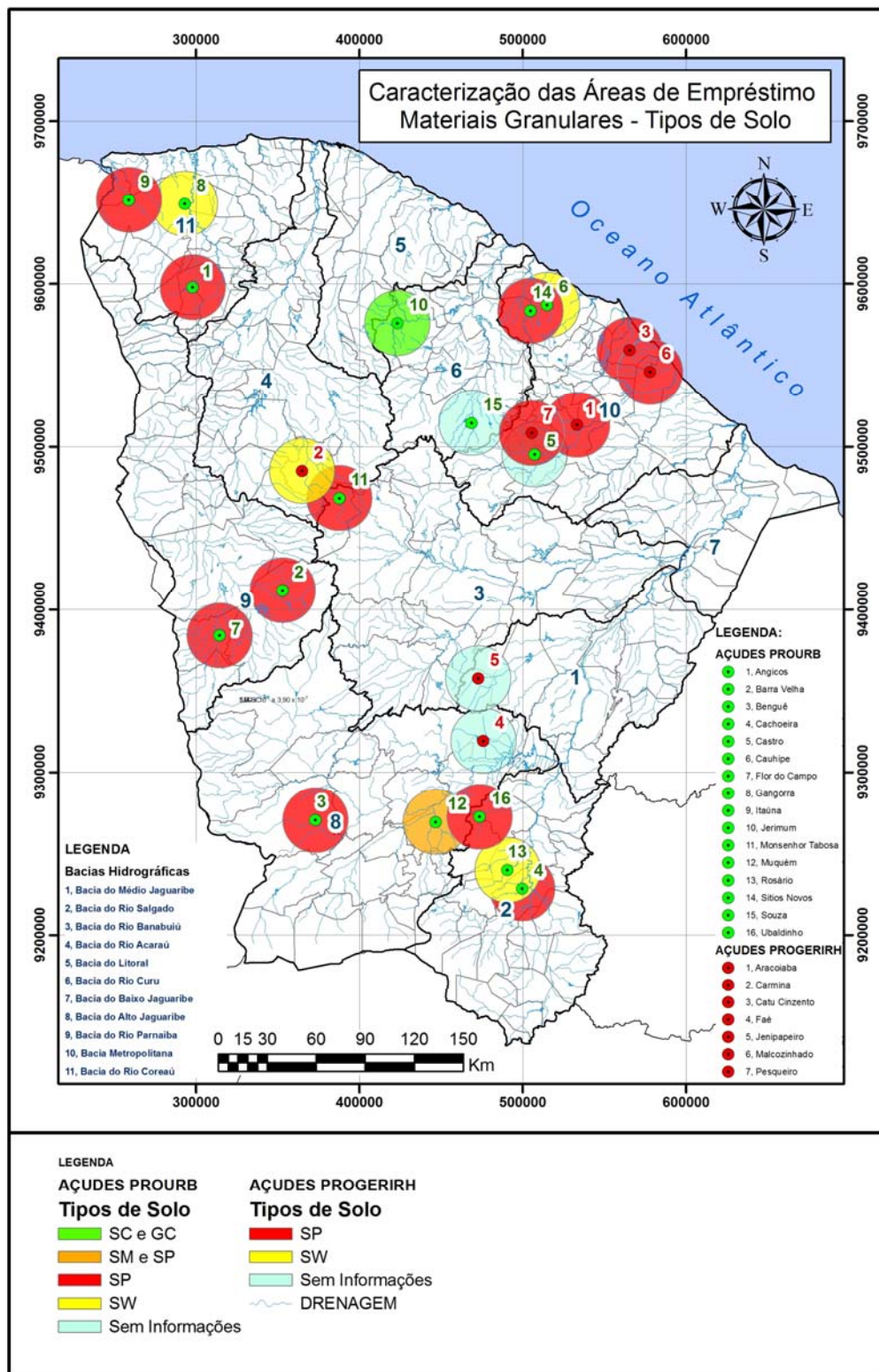


Figura 5.10 – Caracterização das áreas de empréstimo de materiais granulares das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH – Tipos de solo.

(VII) Ensaio de permeabilidade nas áreas de empréstimo para materiais granulares (areais).

Os estudos de permeabilidade de carga constante efetuados tiveram como objetivo avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem, com vistas ao dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna (filtros e drenos).

Para a elaboração dos estudos de permeabilidade dos materiais granulares foi adotado uma escala de grandeza de ordem  $10^1$ , e observa-se que o intervalo do coeficiente de permeabilidade  $k$  está variando entre  $10^{-5}$  e  $10^{-1}$ . Isto constata que para as barragens levantadas os solos que são permeáveis, o que está dentro do esperado, pois estes materiais são utilizados como elemento drenante e filtrante do sistema de drenagem interna dos maciços. Nota-se que esta faixa de intervalo de  $k$  vai desde mistura entre areias e argilas até areias puras.

O mapeamento dos resultados dos ensaios de permeabilidade de carga constante nas áreas de empréstimo de materiais granulares das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH está apresentado na Figura 5.11.

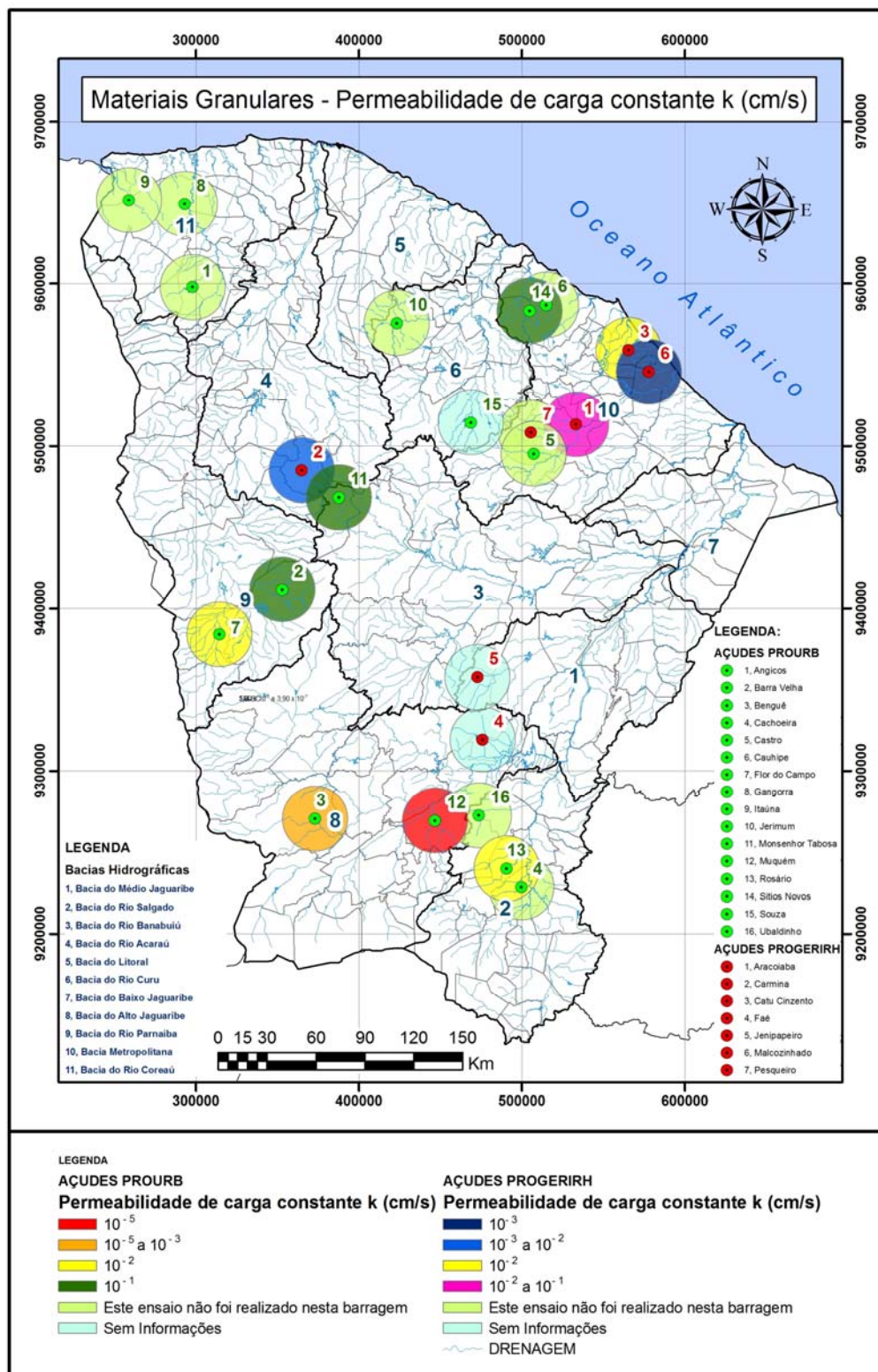


Figura 5.11 – Ensaio de permeabilidade de carga constante nas áreas de empréstimo de materiais granulares das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH.

## (VIII) Caracterização dos materiais pétreos das áreas de empréstimo (pedreiras).

Os estudos dos materiais pétreos são de grande valia na construção de barragens, devido ao alto consumo destes insumos tanto na utilização para proteção dos taludes do maciço quanto nas transições e enrocamento de pé.

A partir da tipologia dos materiais pétreos disponíveis nas áreas de empréstimos das barragens utilizadas neste trabalho, foi traçado um perfil de como se apresenta a distribuição destas rochas nas Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará. Essa distribuição está apresentada na Tabela 5.7.

Como o número de amostras obtidos através do levantamento de dados dos estudos de base das barragens dos programas PROURB-RH e PROGERIRH não foi suficiente para cobrir todo o Estado, as Bacias Hidrográficas do Médio Jaguaribe, Rio Banabuiú, Litoral e Baixo Jaguaribe não apresentam resultados a respeito deste estudo especificamente.

**Tabela 5.7** – Tipologia dos materiais pétreos disponíveis nas Áreas de Empréstimos das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Tipologia de material pétreo disponível na Área de Empréstimo</b>
1, Bacia do Médio Jaguaribe	-
2, Bacia do Rio Salgado	Gnaisse, Gnaisse Xistoso e Xisto
3, Bacia do Rio Banabuiú	-
4, Bacia do Rio Acaraú	Gnaisse
5, Bacia do Litoral	-
6, Bacia do Rio Curu	Gnaisse
7, Bacia do Baixo Jaguaribe	-
8, Bacia do Alto Jaguaribe	Gnaisse
9, Bacia do Rio Parnaíba	Quartzito
10, Bacia do Metropolitana	Gnaisse e Quartzito
11, Bacia do Rio Coreaú	Gnaisse e Quartzito

Os mapeamentos com a tipologia das rochas, resultados dos ensaios de abrasão *Los Angeles* e suas graduações, que juntas caracterizam as áreas de empréstimo de materiais pétreos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH, estão apresentados, respectivamente, nas Figuras 5.12, 5.13 e 5.14.

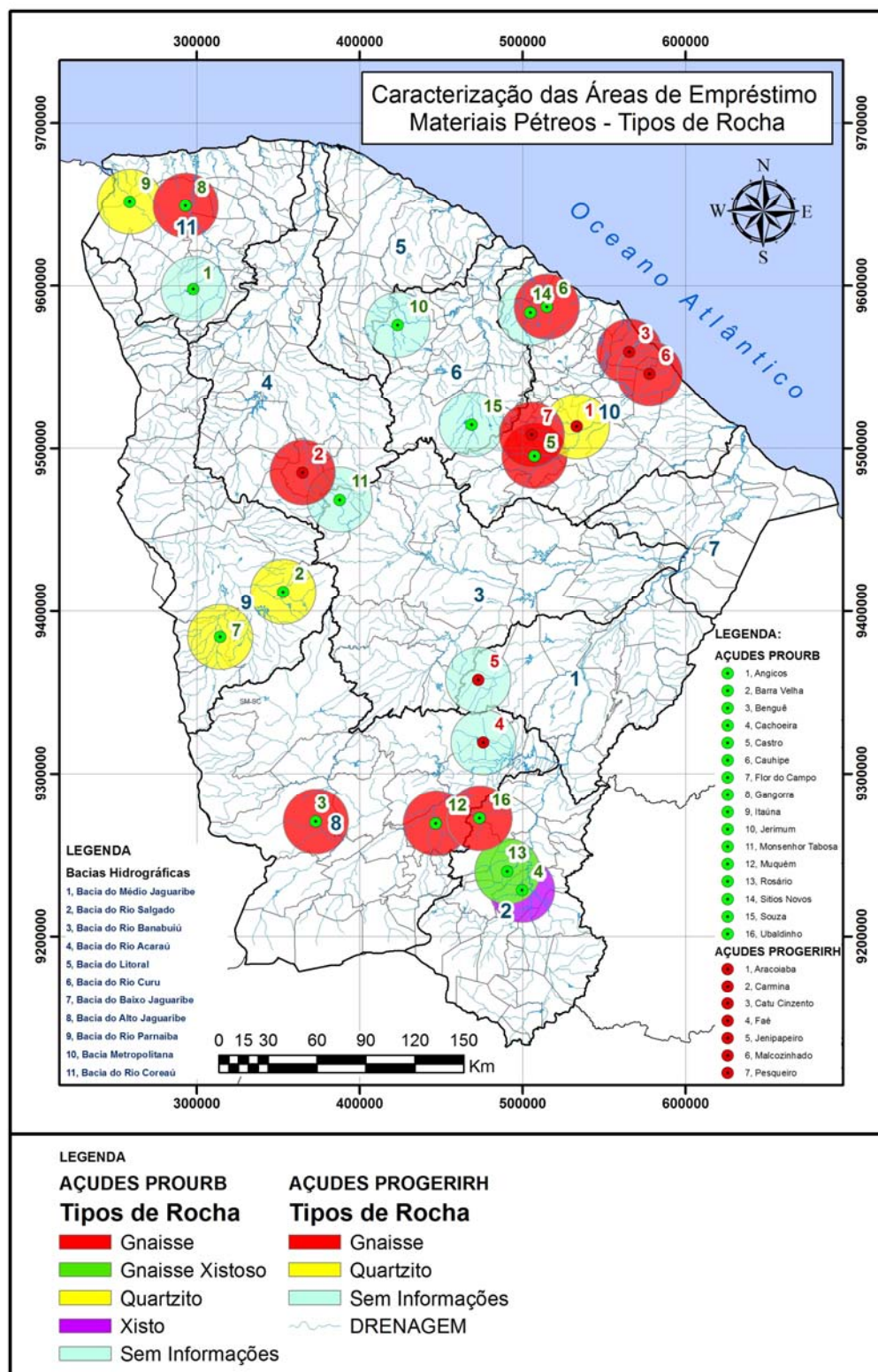
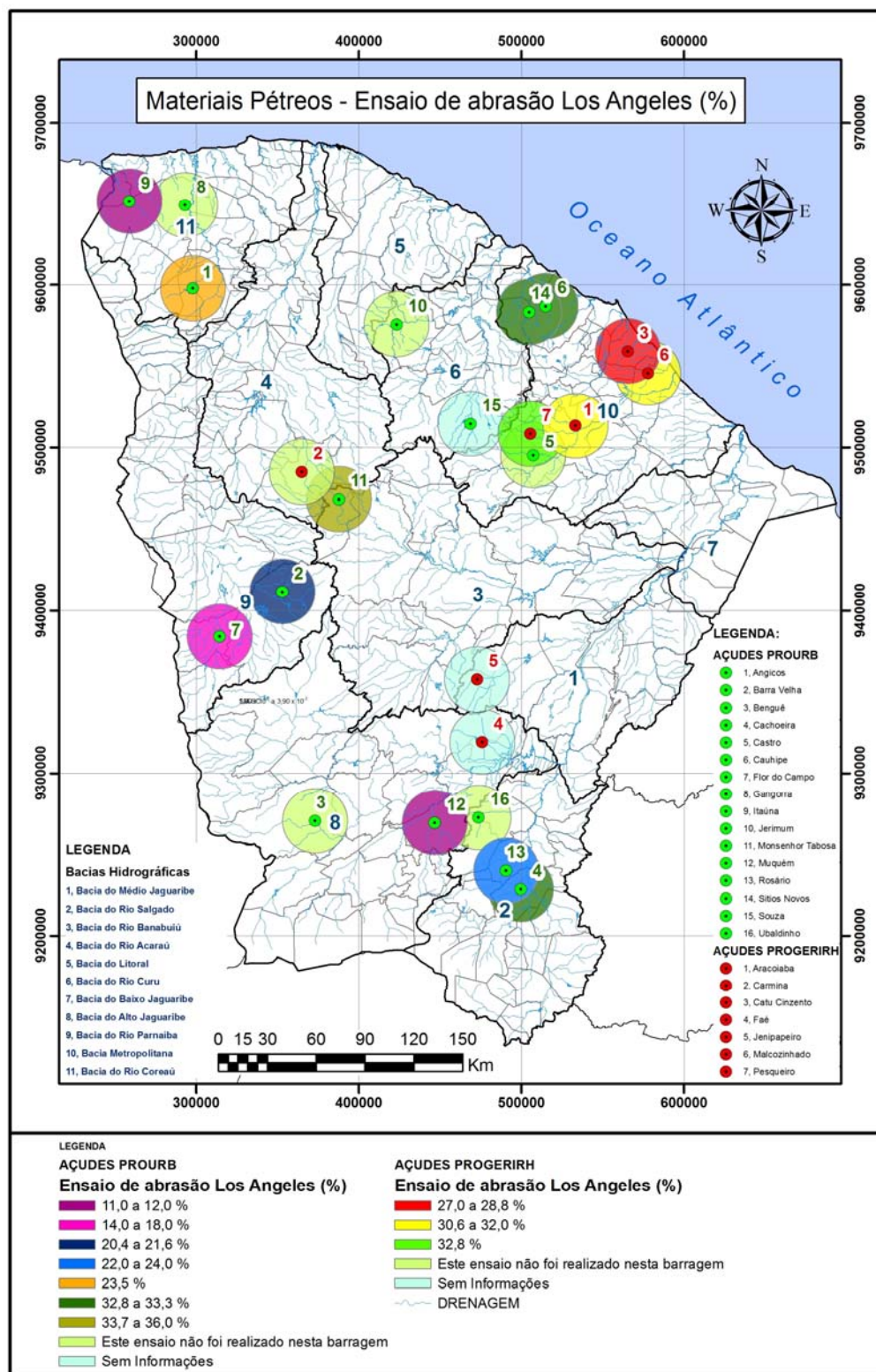


Figura 5.12 – Caracterização das áreas de empréstimo de materiais pétreos das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH. – Tipos de Rocha.



**Figura 5.13** – Ensaio de abrasão *Los Angeles* dos materiais pétreos das áreas de empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH.

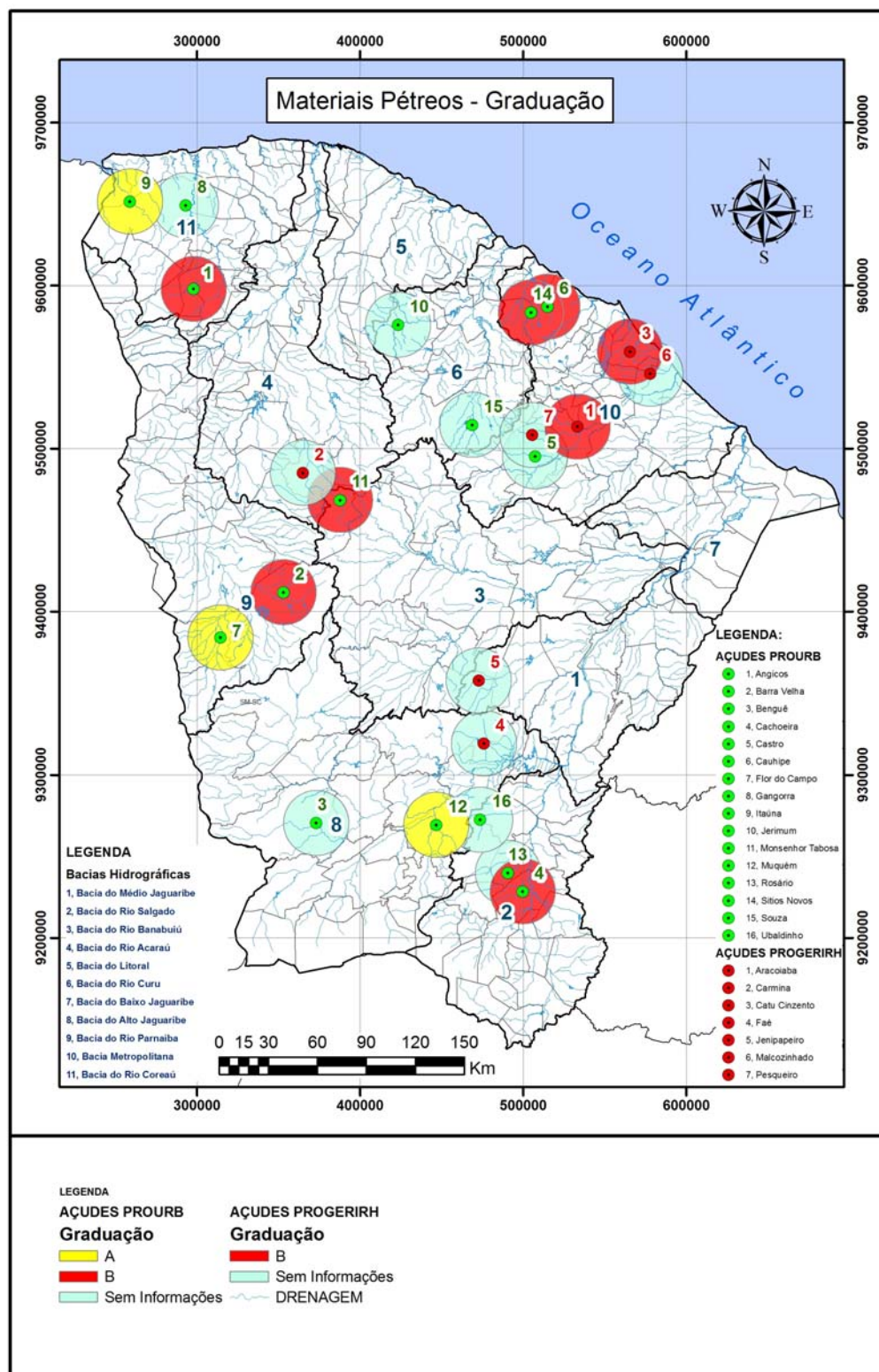


Figura 5.14 – Graduação (ensaio de abrasão *Los Angeles*) dos materiais pétreos das áreas de empréstimo das barragens construídas pelo PROURB-RH e PROGERIRH.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

É de suma importância para a comunidade técnica e científica, tais como engenheiros civis, geólogos, técnicos e consultores que atuam na área de engenharia de barragens, ter disponível material que possibilitem uma orientação sobre as investigações geológico-geotécnicas necessárias para a elaboração do projeto e construção de obras de terra, com o objetivo de reduzir prazos e conseqüentemente reduzir custos.

No Estado do Ceará há uma razoável quantidade de dados geológicos e geotécnicos disponíveis, contidas em diversos projetos do Governo para a construção de barragens. No entanto, estes dados encontram-se dispersos e sem o tratamento adequado para uma rápida consulta por parte de interessados, havendo a necessidade desta forma, que estes dados sejam resgatados e ordenados de forma a agilizar o acesso e visualização destas informações.

Os projetos executivos, nos quais estão inseridos os estudos geológico-geotécnicos para a elaboração dos projetos de construção das barragens levantadas, permitiram detalhar tanto as condições geológicas quanto as áreas de empréstimo de materiais, possibilitando o processamento com êxito do material levantado, assim como a disponibilidade e características dos materiais naturais para construção de barragens no Estado do Ceará.

Para um melhor entendimento dos fatores que influenciam na formação do solo do Estado, estão apresentadas neste trabalho, de maneira detalhada, as características do meio físico da área de estudo como: localização, clima, vegetação, hidrologia, geomorfologia, solo para agricultura, geologia e hidrogeologia do Estado do Ceará.

A elaboração deste trabalho, que teve como base as informações advindas de estudos dos programas PROURB-RH e PROGERIRH, servirá como banco de dados, tendo como objetivo o resgate de registros de informações de projetos anteriores que são de fundamental importância para o Estado do Ceará.

As investigações realizadas para a elaboração dos estudos de base apontaram que para os materiais naturais utilizados na construção de barragens no Estado do Ceará, a disponibilidade e características são bastante favoráveis para atender as obras, por apresentarem materiais de boa qualidade, em quantidade e dispostos de uma forma bem distribuída, o que justifica a quantidade e a viabilidade das inúmeras barragens construídas por todo o território cearense.

Como sugestão para outros trabalhos, sugere-se aumentar o número de barragens levantadas, para um maior detalhamento do estudo. Utilizando os dados de barragens que certamente serão construídas por outros projetos do Governo pode-se aprimorar o presente estudo fornecendo um maior número de dados, aumentando assim a quantidade e qualidade de informações para análise. Com este incremento de registros aumentar-se-á o espaço amostral, fazendo com que a confiança nas informações obtidas seja continuamente melhorada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, R. C. 2005. **Nordeste e Amazônia: Novos Caminhos para o desenvolvimento**. Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Altos Estudos.

ARAÚJO, J. A. A., *coord.* 1990. **Barragens no Nordeste do Brasil: Experiência do DNOCS em Barragens na Região Semi-Árida**. DNOCS.

BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2008. **Conversão de Moedas**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/Resultado.asp?idpai=convmoeda>>. Acesso em: 01 de outubro de 2008.

BEZERRA, A. M. 2008. **Avaliação da Aplicação da Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Estado do Ceará**. Monografia apresentada e aprovada para obtenção do título de Mestre, na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza: 2008.

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará, 2007. **Programas e Ações**. Disponível em: <<http://www.cagece.com.br/cagece/programas/concluidos/prourb/>>. Acesso em: 18 de julho de 2007.

CARVALHO, L. H., 1982. **Curso de barragens de terra com vistas ao Nordeste Brasileiro**. Volume I. Fortaleza, Ministério do Interior – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas.

CARVALHO, L. H., 1984. **Curso de barragens de terra com vistas ao Nordeste Brasileiro**. Volume II. Fortaleza, Ministério do Interior – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas.

CBH – Comitê de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará, 2006. **Planejamento Estratégico dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará 2004 / 2005**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp>>. Acesso em: 21 de setembro de 2008.

DAS, B. M., 2007. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução da 6ª edição norte-americana. São Paulo, Thomson Learn.

DIÁRIO DO NORDESTE, 2002. Açude Cedro começa a receber água das chuvas. **Diário do Nordeste**. Fortaleza, 11 abr. 2002. Disponível em: <<http://diariodonordeste.globo.com/2002/04/11/010027.htm>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2008.

DNOCS, 2008. História. **Registros . Divisão de Comunicação Social**. Disponível em: <[http://www.dnocs.gov.br/php/comunicacao/registros.php?f\\_registro=2&f\\_ope=registro](http://www.dnocs.gov.br/php/comunicacao/registros.php?f_registro=2&f_ope=registro)>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

EMBRAPA, 2008. **Algaroba**. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br/imagens/algaroba.jpg>>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

EMBRAPA SOLOS, 2008. **Vegetação de Caatinga Hipoxerófila**. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/imagens/fomezero/guaribas04.jpg>>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

FARIAS, J. A., 2007. **História do Ceará**. 2ª edição. Fortaleza, Livros Técnicos e Científicos.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2008. **Glossário Técnico**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/DEMET/Index.htm>>. Acesso em: 02 de abril de 2008.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, J. T. R.; MAIA, G. B. 2005. **Geotecnia no Nordeste**. Recife, Editora Universitária UFPE.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. Q.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. 1998. **Fundações: teoria e prática**. São Paulo, Pini.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002. **Resolução Nº. 05, de 10 de outubro de 2002**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/principal.shtm>>. Acesso em: 23 de julho de 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2005. Anuário Estatístico do Brasil. In: IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2008. **Ceará em números 2007**. Disponível em: <[http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara\\_em\\_numeros/2007/territorial/caracterizacao\\_territorial\\_red.pdf](http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2007/territorial/caracterizacao_territorial_red.pdf)>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2007. **Contagem da População 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>. Acesso em: 15 de julho de 2008.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2006. **Ceará em números 2005 - Fisiografia**. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara\\_em\\_numeros/2005/PDFs/1%20Fisiografia/1%20fisiografia.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2005/PDFs/1%20Fisiografia/1%20fisiografia.pdf)>. Acesso em: 02 de abril de 2008.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, 2008. **Ceará em números 2007**. Disponível em: <[http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara\\_em\\_numeros/2007/territorial/cara\\_cterizacao\\_territorial\\_red.pdf](http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ceara_em_numeros/2007/territorial/cara_cterizacao_territorial_red.pdf)>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

MALVEIRA, V.T.C.; TEIXEIRA, A.S.; VIEIRA, V.P.P.B., 2005. Uso de SIG na caracterização da evolução do armazenamento superficial de água no Estado do Ceará – período: 1901 a 2004. In. **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Nov. 2005**.

MIRANDA, A. N., 2005. Prática de Fundações no Ceará. In. GUSMÃO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, J. T. R.; MAIA, G. B. 2005. **Geotecnia no Nordeste**. Recife, Editora Universitária UFPE.

PEQUI – PESQUISA E CONSERVAÇÃO DO CERRADO, 2008. **Cerrado**. Disponível em: <[http://www.pequi.org.br/imagens/cerrado\\_chapada.jpg](http://www.pequi.org.br/imagens/cerrado_chapada.jpg)>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

PLANERH, 2005. In CBH – Comitê de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará, 2006. **Planejamento Estratégico dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará 2004 / 2005**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp>>. Acesso em: 21 de setembro de 2008.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2000. **Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil**. Disponível em: <[http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/IDHM%2091%2000%20Ranking%20decrecente%20de%20Estados%20\(pelos%20dados%20de%202000\).htm](http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/IDHM%2091%2000%20Ranking%20decrecente%20de%20Estados%20(pelos%20dados%20de%202000).htm)>. Acesso em: 23 de julho de 2007.

SANDRONI, S.S. *et al*, 1989. COC739 Barragens de Terra e Enrocamento. Mestrado em Geotecnia. COPPE/UFRJ. In. GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, J. T. R.; MAIA, G. B. 2005. **Geotecnia no Nordeste**. Recife, Editora Universitária UFPE.

SEMACE, 2008. **Carnaubeira**. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/imagens/noticias/sa05.jpg>>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

SOUZA, M. J. N.; LIMA F. A. N.; PAIVA J. B. 1979. **Compartimentação Topográfica do Estado do Ceará**. Ceará, Revista Ciência Agronômica da Universidade federal do Ceará.

SRH-CE (a) – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 2007. Histórico da Política de Águas. In: BEZERRA, A. M. 2008. **Avaliação da Aplicação da Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Estado do Ceará**. Monografia apresentada e aprovada para obtenção do título de Mestre, na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza: 2008.

SRH-CE (b) – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 2007. **Projetos Especiais**. Disponível em: <<http://www.srh.ce.gov.br/projetos-especiais/progerirh-1>>. Acesso em: 19 de julho de 2007.

SRH-CE – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 2008. **Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Ceará**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp>>. Acesso em: 08 de julho de 2008.

SRH-CE – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1992. Plano Estadual de Recursos Hídricos (PLANERH). Fortaleza, SRH, 1992. 4v. In: SRH-CE – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 2004. **PLANERH DIAGNÓSTICO Capítulo 7 Infra Estrutura Hídrica.pdf**. Disponível em: <<http://www.ged.srh.ce.gov.br/alchemyweb/SearchPage.aspx>>. Acesso em: 08 de julho de 2008.

SRH-CE/Consórcio MW-Engesoft, 2000. In CBH – Comitê de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará, 2006. **Planejamento Estratégico dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará 2004 / 2005**. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp>>. Acesso em: 21 de setembro de 2008.

UOL/EDUCAÇÃO, 2008. **Mandacaru**. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2008.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. 2004. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo, Oficina de Textos.