

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

ANÁLISE GEOAMBIENTAL ASSOCIADA
À IMPLANTAÇÃO DO TREM
METROPOLITANO DE FORTALEZA

Gustavo Amorim Studart Gurgel

N.Cham. D 551 G987a

Autor: Gurgel, Gustavo Amo

Título: Análise geoambiental associada à



13823555

Ac. 62578

BLCM

Fortaleza — Ceará

2002



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
MESTRADO EM GEOLOGIA

**ANÁLISE GEOAMBIENTAL ASSOCIADA À IMPLANTAÇÃO DO TREM
METROPOLITANO DE FORTALEZA**

GUSTAVO AMORIM STUDART GURGEL

ORIENTADOR: DR. LUIS PARENTE MAIA

FORTALEZA, JULHO DE 2002

BSLCM

ANÁLISE GEOAMBIENTAL ASSOCIADA À IMPLANTAÇÃO DO TREM
METROPOLITANO DE FORTALEZA

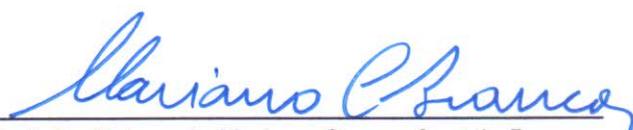
GUSTAVO AMORIM STUDART GURGEL

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Luis Parente Maia – Orientador



Prof. Dr. Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco



Prof. Dr. George Satander Sá Freire

FORTALEZA, JUNHO DE 2002

II

BSLCM

FICHA CARTALOGRÁFICA

G962

Gurgel, Gustavo Amorim Studart
Análise Geoambiental Associada à Implantação
do Trem Metropolitano de Fortaleza/ Gustavo Amorim
Studart Gurgel, Fortaleza: 2002.

110 p.: il

Orientador: Luis Parente Maia

Dissertação de Mestrado em Geologia – UFC

1 – Metrofor 2 - Trens 3 – Meio Ambiente;

I – Título C95

C.D.D. 551

337,77 uso da terra (uso urbano)

III

1. Geologia ambiental. 2. Geodologia. 3. Metrô 4. trens

Im Memorium ao amigo e "professor" José Amâncio de Souza, que com seus ensinamentos demonstrou uma vida voltada à capacidade de inspiração e ao conforto nas horas adversas da vida.

4.2	EFEITO EL NIÑO/LA NIÑA E O REGIME PLUVIOMÉTRICO.....	40
4.3	CLIMA LOCAL.....	43
4.3.1	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	43
4.3.2	REGIME DE VENTOS	45
5.0	RECURSOS HÍDRICOS.....	48
5.1	RECURSOS SUPERFICIAIS	48
5.1.1	ESTUDO HIDROGRÁFICO DA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA..	49
5.1.2	OS PROJETOS EXECUTIVOS DE DRENAGEM	51
5.1.2.1	TAUÁPE (SUB-BACIA B-1)	52
5.1.2.2	RIO COCÓ (SUB-BACIA B-2)	54
5.1.2.3	LAGOA DA PARANGABA (MICRO-BACIAS C-3.1 e C-3.2).....	55
5.1.2.4	MARANGUAPINHO (MICRO-BACIAS C-3.4, C-3.5 e C-3.6).....	56
5.1.3	PROJETO DE DRENAGEM UTILIZADO.....	60
5.1.4	AÇUDE DE CAUCAIA E LAGOA DO TABAPUÁ	62
5.1.5	MINERAÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	70
5.1.6	IMPACTO AMBIENTAL ATRAVÉS DA MINERAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA.....	82
5.2	ESTUDO HIDROGEOLÓGICO NA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA	84
5.2.1	APLICAÇÃO DE PONTEIRAS FILTRANTES NO REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	85
5.2.2	PONTEIRAS FILTRANTES	87
5.2.3	ANÁLISE DE DEFORMAÇÕES NAS ESCAVAÇÕES.....	101
5.2.3.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA EM CONSTRUÇÃO	102
	CONCLUSÕES.....	116
	BIBLIOGRAFIA	120

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 01: Fluxograma Metodológico; p. 16.
- Figura 02: Mapa de Localização – Projeto METROFOR; p. 18.
- Figura 03: Ligação SUL – Centro de Manutenção à Estação Conjunto Esperança; p.20.
- Figura 04: Ligação Sul – Esquema da área subterrânea; p. 21.
- Figura 05: Localização dos estudos de climatologia; p. 43.
- Figura 06: Variação dos dias de chuva em Fortaleza – CE; p. 46.
- Figura 07: Bacias Hidrográfica da região Metropolitana de Fortaleza; p. 49.
- Figura 08: Gráfico com minerações na Bacia do Rio Cocó; p. 74.
- Figura 09: Gráfico com minerações na Bacia do Rio Ceará; p. 75.
- Figura 10: Mapa da RMF, com as áreas de minerações utilizadas no METROFOR; p.77.
- Figura 11: Gráfico esquemático dos métodos de rebaixamento do lençol freático; p. 87.
- Figura 12: Escavação parcializada do túnel; p. 91.
- Figura 13: Seção transversal típica do subsolo; p. 104.
- Figura 14: Sondagens efetuadas na área; p. 105.
- Figura 15: Gráfico dos resultados obtidos durante a instrumentação de campo; p. 110.
- Figura 16: Curva granulométrica a 2,00 metros de profundidade; p. 111.
- Figura 17: Comparação entre recalques previstos e observados; p. 114.
- Figura 18: Comparação entre os deslocamentos horizontais previstos e observados.P. 115.

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 01:** Coluna Estratigráfica; p. 26.
- Tabela 02:** Frequência percentual dos ventos na R.M.F.; p. 46.
- Tabela 03:** Laudo de análise físico-químico da água do Açude Caucaia; p. 65.
- Tabela 04:** Matriz de Correlação dos minerais empregados na obra civil; p. 83.
- Tabela 05:** Tabela de ensaios de permeabilidade e densidade seca "in situ"; p. 109.

ÍNDICE DE QUADROS

- Quadro 01:** Relação de ocorrência do El Nino e La Nina; p. 42.
- Quadro 02:** Coeficiente de permeabilidade e os métodos propostos para rebaixamento; p. 86.
- Quadro 03:** Parâmetros geotécnicos do solo arenoso; p. 112.

ÍNDICE DO MAPA

- Mapa 01:** Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza e as linhas do Trem Metropolitano de Fortaleza –METROFOR; p.38

RESUMO

A dissertação em epígrafe apresenta uma síntese referente às obras de grande porte e suas influências nos meios biótico, abiótico e antrópico, relacionando a falta de estudos anteriores aos projetos, as interações da obra com o meio ambiente, bem como definindo novas diretrizes que poderão ser abordadas em obras como a do Trem Metropolitano de Fortaleza, objeto deste trabalho.

Observou-se dentro do propósito desta dissertação, que nas áreas intervidas pela linha metroviária, após discursão técnica e medidas mitigadoras sobre os projetos, a drenagem superficial tornou-se mais efetiva, uma vez que a construção interveio de forma a redimensionar a drenagem superficial. No trecho subterrâneo, a discursão sobre o rebaixamento do lençol freático e os estudos geotécnicos para recalque e deslocamentos verticais e horizontais foram abordados, e sugeridos também medidas mitigadoras, além de mostrar áreas problemáticas à sociedade, como a presença de plumas de contaminação por hidrocarbonetos, devido à descarga e/ou vazamentos provenientes das distribuidoras de combustíveis e definir novas profundidades para o manto de alteração do embasamento cristalino, contribuindo para a geologia do município de Fortaleza.

Todas as áreas que direta ou indiretamente, sofreram intervenção da rede metroviária, foram alvo de projetos para o tratamento e recuperação, como observados nas áreas de mineração de salitre, areias e os reservatórios d'água, como os casos do açude de Caucaia e da Lagoa do Tabapuá.

A construção do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, trouxe grandes temas para discussão técnica, graças ao empenho do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará – UFC, da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP e do apoio do Consórcio Construtor Queiroz Galvão / Camargo Corrêa, responsáveis pela construção da superestrutura e infra-estrutura da linha metroviária.

ABSTRAT

This dissertation presents a synthesis of the big engineering works carried out and its effects on biotic, abiotic and anthropic environments, besides to make about the lack of previous studies concerning the project and linking news management action that will be indispensable for works of this kind as it is the Metropolitan Fortaleza Railway.

It was observed within of the dissertation objectives that in the areas interfered by railway line the surface draining was suitable since the construction dimensioned it about the underground section the coming down water sheet was considered and showed it is consequences with definition of the problematic sections for knowledge of the public power, due the generation of contamination feather by discharge and/or leakage of fuel from distributors. Also it was responsible for determine tiding depths concerning the top crystalline foundation.

All areas that were reached, direct or indirectly for the net railway line have received special treatment and recuperation, as it has been sight in the places of gravel mining, sand deposits and water reservoirs, as for the example, the Caucaia reservoir and the Tabapuá lagoon.

The construction of the Metropolitan Fortaleza Railway – METROFOR comes to bring important themes for technical discussion in the Federal University of Ceará / Departament of Geology, together with the Ceará Foundation of Support to Scientific and Technology Development – FUNCAP and the collaboration of the Associated Builter Queiroz Galvão / Camargo Correia, that are responsible for the super and infra structure construction of this railway line.

1.0 APRESENTAÇÃO

O Projeto METROFOR, em fase de implantação de seu primeiro estágio, compreende a execução das obras da Linha Sul do novo sistema metroviário da área metropolitana de Fortaleza, que interligará o centro da cidade aos municípios vizinhos de Pacatuba, Maracanaú e Maranguape, numa extensão aproximada de 24,1 km. Ele abrange a implantação de um trecho subterrâneo com cerca de 3,8 km de extensão, sob a região central de Fortaleza, além da construção de malha superficial para a linha de cargas.

A Linha Sul inclui a construção de 18 estações de passageiros, desde a região central de Fortaleza até Pacatuba, das quais 4 estão localizados no trecho subterrâneos. No trecho em superfície, o empreendimento inclui a construção de obras civis especiais, tais como viadutos rodoviários e ferroviários, pontes, passagens inferiores e passarelas para pedestres, com o objetivo de contornar os problemas de interferência com outras vias de tráfego e permitir a transposição de cursos d'água.

A implantação do trecho subterrâneo do METROFOR está sendo desenvolvida com o emprego do método "cut-and-cover", abrangendo as etapas de escavação até o nível da laje de cobertura do túnel, seguida da concretagem da mesma. A seguir é realizada a impermeabilização, reaterro sobre a laje de cobertura executada e reurbanização e, por fim, a escavação sob a laje de cobertura e construção do túnel, já com o trânsito de veículos na superfície restabelecido.

O trabalho foi desenvolvido, tomando em consideração uma análise de todo o trajeto, o estudo hidrográfico das bacias onde o mesmo atravessa na Região Metropolitana de Fortaleza, análise do emprego de minerais utilizados para esse segmento de construção civil, estudo hidrogeológico, deformações existentes após a escavação e análise dos impactos da obra ao meio físico e biótico.

A implantação da linha metroviária associada à má gestão dos recursos naturais pode provocar graves prejuízos ambientais, caso não sejam observadas as medidas mitigadoras de impacto ambiental. Na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, de ecossistemas frágeis e equilíbrio instável, devido principalmente a urbanização acelerada e não planejada, a degradação da vegetação, do solo e, em consequência, a aceleração dos processos erosivos nas bacias hidrográficas que atravessam essa região, têm intensificado o grau de deterioração desses ambientes, bem como o desequilíbrio ecológico, tudo isso com reflexos ambientais, econômicos e sociais, afetando a qualidade de vida nessas áreas.

O presente estudo tem por objetivo pesquisar e identificar as áreas afetadas pela implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, bem como analisar suas causas e consequências. Trata-se de uma análise integrada da natureza e das relações homem x natureza, fundamentada no conceito de ecossistema, (Tansley, 1934 *apud* Tricart, 1977). Pretende-se também tratar da ecodinâmica (conforme critérios de Tricart, 1977) das diversas unidades geoambientais que integram a linha metroviária, considerando suas potencialidades, limitações e vulnerabilidade.

No que se refere aos objetivos específicos, propõe-se:

- elaborar diagnóstico ambiental, visando determinar as limitações/vulnerabilidades das diversas unidades geoambientais pela implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza.
- Diagnosticar o surgimento de áreas em processo de degradação, utilizadas pelo Trem Metropolitano de Fortaleza e desenvolver sua recuperação ambiental;
- Identificar e avaliar as principais causas e consequências ambientais e socio-econômicas decorrentes da implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza.
- Analisar as consequências da Implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza na hidrografia e nas águas subterrâneas na linha metroviária.

1.1 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Bases Conceituais

Os estudos e pesquisas referentes à análise geoambiental, enfoque principal do presente trabalho, têm como apoio e referencial básico a Teoria Geral dos Sistemas, as literaturas referentes aos estudos geoambientais desenvolvidos no âmbito do Estado do Ceará, e ainda os estudos que tratam da construção de linhas metroviárias e suas conseqüências.

Bertalanffy (*apud* Christofolletti, 1979) foi um dos precursores da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas na Termodinâmica e na Biologia. Embora a teoria tenha sido desenvolvida nos Estados Unidos por R. Defay, já a partir de 1929, só em 1950 – 1951 as contribuições de Bertalanffy a esse ramo da ciência foram “consideradas como formulações básicas de uma doutrina com aplicabilidade universal, estabelecendo os princípios de uma nova ciência” (Christofolletti, 1979) favorecendo sua utilização em outros ramos da ciência.

São várias as definições dadas à Teoria dos Sistemas. Entretanto merecem destaque às proferidas por: Thomes e Brunsten, 1977 (*apud* Christofolletti, 1979) que definem o sistema como “conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, que se encontram organizados para executar uma função particular”. A essa definição os autores dão ênfase à questão operadora do sistema, que funciona e executa um determinado tipo de tarefa. Miller (1965, *apud* *ibidem*), define o sistema como um conjunto de unidades com relações entre si, “Conjunto” implica que as unidades possuem propriedades comuns. “O estado de cada unidade é controlado e dependente do estado das outras unidades”. Para Christofolletti, (*op. cit*) o conjunto está organizado em função das interrelações das unidades e, portanto, o seu grau de organização lhe favorece a assunção do caráter de um todo, representando uma grandeza maior que o somatório das partes.

As bases teóricas – metodológicas dos estudos geoambientais estão dentro dessa visão de conjunto que reúne os componentes naturais e dão ênfase aos mecanismos de integração da natureza. Sua utilização na ecologia foi introduzida por Tansley, 1934 (*apud* Tricart, 1977), que definiu ecossistema como “um conjunto de seres vivos, mutuamente dependente uns dos outros e do meio ambiente no qual eles vivem”.

Sub tal óptica, Bertrand (1971) mostra a importância da paisagem, como um todo, na identificação e delimitação das unidades geossistêmicas, e diz que é o “resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que reagindo dialeticamente uns em relação aos outros, dão à paisagem uma dimensão única e aglutinada, em contínua evolução”. Propõe um sistema de classificação taxonômica de paisagem, onde esse sistema comporta seis níveis têmporo-espaciais, com unidades denominadas em função de sua dimensão: a zona, o domínio e a região natural, considerados como unidades superiores; geossistema, geofácies e geótopo, havidas como unidades inferiores.

Bertrand (*op. cit*) busca mostrar que o sistema de evolução de geossistema engloba diferentes formas de energias em uma só e que, interagindo dialeticamente, esses fatores “comuns” determinam o mecanismo de desenvolvimento da paisagem. Esse sistema de evolução pode estar representado por três conjuntos diferentes, porém estreitamente solidários, que se inter cruzam amplamente, que são: sistema geomorfo genético e bioclimático; a dinâmica biológica, que intervem no plano da comunidade vegetal e dos solos; e o sistema de exploração antrópica. Essa série de agentes e processos que compreendem o sistema de evolução não são perceptíveis de imediato, porém é possível classificar os sistemas de evolução em função de um ou mais fatores dominantes (geomorfológico, antrópico).

Segundo Tricart (1977), a adoção do conceito de sistema na Ecologia e, posteriormente, a formulação da noção de ecossistema, foram importantes, pois permitiram que os conhecimentos anteriormente dispersos e isolados fossem analisados de forma integrada. O autor considera o conceito de sistema como o melhor instrumento lógico disponível para a

análise dos problemas ambientais, pois “a utilização do instrumento lógico dos sistemas permite identificar rapidamente quais serão as modificações indiretas desencadeada por uma intervenção que afeta tal ou qual outro elemento do ecossistema”.

Ao propor a metodologia baseada na ecodinâmica, Tricart (1977), mostra que “a dinâmica do meio ambiente dos ecossistemas é tão importante para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos quanto à dinâmica das próprias biocenoses”, ou seja, do conjunto dos seres vivos de um ecossistema. E mais, que esses aspectos da dinâmica dos ecossistemas têm relações bem próximas entre si. Salienta também a idéia de que “uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos importantes sobre a biocenoses”.

De acordo com Tricart (*op. cit.*), o conceito de unidade ecodinâmica está integrado no conceito de ecossistema. Para o autor, o mencionado conceito “baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente”.

1.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Os procedimentos adotados neste trabalho estão sintetizados na Figura 1, que expõe as etapas e os objetivos da pesquisa, fundamentado na abordagem sistêmica, o qual, dentro da temática ambiental, visa, sobretudo a integração dos elementos que compõem o sistema geoambiental com vistas a uma análise da relação homem/natureza.

De acordo com a Figura 1, na Fase de Análise, procurou-se fazer os levantamentos bibliográficos, tendo como principal alvo a escolha de material a respeito da fundamentação teórico – metodológica a ser adotada, como a Teoria Geral dos Sistemas, a ecodinâmica e os processos integrativos, bem como os que dizem respeito ao tema de implantação de Metrô, hidrografia e hidrogeologia. Também foram executados levantamentos acerca dos recursos naturais, demográficos e aspectos socioeconômicos dos municípios envolvidos na linha metroviária.

Dando continuidade, executou-se o levantamento geocartográfico, onde se desenvolveu as bases cartográficas através da utilização das cartas plani-altimétricas na escala de 1: 100.000, editadas pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército Folha Fortaleza SB.24-Z-C-IV, e também utilizados fotomosaicos das áreas que comportam a linha metroviária, além do mapa Geológico do Projeto SIINFOR (Braga, 1995), que foram à base para análise dos aspectos físicos ambientais dentre os quais a geologia local.

Ainda nessa fase, realizou-se a análise dos componentes que integram o sistema geoambiental de natureza geológica, geomorfológica, climato-hidroológica, e hidrogeológica.

Na Fase de Análise, foram realizados trabalhos de campo para fins de reconhecimento e checagem do material obtido através do levantamento bibliográfico e geocartográfico, além de observações, *in loco*, no que concerne à implantação da linha metroviária. Neste momento foi recolhido dados secundários referente à geotécnica.

Finalizada à Fase de Análise, passou-se à Fase de Síntese (agregação dos dados) e, como resultado, iniciou-se a discussão técnica com equipe multidisciplinar que acompanha a implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza e com o orientador da dissertação.

A Fase de integração consistiu na delimitação, definição das unidades geoambientais, limitações, tipologia de uso e índice de interferência humana. Esta fase é definida pela integração de todos os dados e análises anteriormente confeccionadas, e constatações em campo, que possibilitaram uma visão integrada da ecodinâmica das unidades abordadas,

dentro das quais o redimensionamento da drenagem superficial, conseqüências do rebaixamento do lençol freático, mineração, perfil litológico em Fortaleza e a falta de estudos complementares na fase de projetos para obras de grande porte.

Com respeito à Fase de exequibilidade, foram sugeridas algumas propostas para recuperação de áreas degradadas e adequação para o uso e manejo das unidades estudadas, além de promover discussões técnicas sobre a falta de estudos para projetos de grande porte que garantam o uso de equipe multidisciplinar e intradisciplinar.

Este trabalho apresenta os resultados atualmente disponíveis sobre o monitoramento das escavações do Metrô de Fortaleza, monitoramento da linha superficial e da linha de cargas, bem como informações sobre todo o sistema de drenagem superficial e subterrâneo e as interferências das águas no Metrô de Fortaleza e do Metrô sob essas águas, a recuperação de áreas degradadas pela mineração e de áreas utilizada pelo Consórcio Construtor QGCC (Queiroz Galvão – Camargo Corrêa), a discussão e propostas sobre os projetos de grande magnitude, objeto desta dissertação. As informações aqui apresentadas referem-se à fase de construção do Trem Metropolitano de Fortaleza.

FICHA CARTALOGRÁFICA

G962

Gurgel, Gustavo Amorim Studart

Análise Geoambiental Associada à Implantação
do Trem Metropolitano de Fortaleza/ Gustavo Amorim
Studart Gurgel, Fortaleza: 2002.

110 p.: il

Orientador: Luis Parente Maia

Dissertação de Mestrado em Geologia – UFC

1 – Metrofor 2 - Trens 3 – Meio Ambiente;

I – Título C95

C.D.D. 551

338,77 uso da fone (uso urbano)

III

1. Geologia ambiental. 2. Geologia. 3. Metrô 4. Trens

Aos pais

Aos professores

Aos amigos

Aos colegas

Aos alunos

Aos familiares

Aos colegas de trabalho

Aos amigos de infância

Aos colegas de curso

Aos amigos de longa data

Aos colegas de profissão

Aos amigos de sempre

Aos colegas de classe

Aos amigos de infância e juventude

Aos colegas de trabalho

Aos amigos de longa data

Aos colegas de curso

Aos amigos de infância

Aos colegas de profissão

Aos amigos de sempre

Im Memorium ao amigo e "professor" José Amâncio de Souza, que com seus ensinamentos demonstrou uma vida voltada à capacidade de inspiração e ao conforto nas horas adversas da vida.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Deus, porque ele é bom, porque sua benignidade é para sempre. Salmo 107-1.

Ao professor Luis Parente Maia, pela orientação científica, amizade, experiências transmitida e constante atenção durante o desenvolvimento desta dissertação.

Aos professores do Curso de Mestrado em Geologia da Universidade Federal do Ceará – UFC, em especial aos professores George Satander Sá Freire, Raimundo Mariano Gomes Castelo Branco e Itabaraci Cavalcante pelos incentivos e ensinamentos transmitidos.

Ao Consórcio Construtor Queiroz Galvão – Camargo Correia pelo apoio logístico e considerações aportadas, principalmente aos Engenheiros Edno Vaz e Marcos Jordão.

A Fundação Cearense de Apoio e Desenvolvimento Tecnológico – FUNCAP, pelo valoroso apoio técnico e financeiro.

Aos meus genitores, José Jarbas Studart Gurgel e Maria Juvanília Amorim Studart Gurgel e minha família pelo acolhimento, incentivo e ensinamentos transmitidos.

As minhas filhas Mariana Cordeiro Studart Gurgel e Luisa Cordeiro Studart Gurgel, pela paciência, amor e dedicação.

Aos geólogos João Barros Gurgel Júnior, Marcelo Pinheiro de Castro Rebello, Francisco Raimundo Moreira e ao engenheiro agrônomo Jaime Ferré Martí pelos incentivos e sugestões transmitidas no decorrer deste trabalho de pesquisa.

A Heloísa Correia pelo amor, paciência e caloroso acolhimento.

Aos colegas do curso de Mestrado em Geologia e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, no desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABELAS	4
ÍNDICE DE QUADROS.....	4
ÍNDICE DO MAPA.....	4
RESUMO	5
ABSTRAT	6
1.0 APRESENTAÇÃO	7
1.1 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	9
1.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	11
2.0 INTRODUÇÃO	15
2.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS CIVIS	21
2.2 IMPLANTAÇÃO DA ATIVIDADE DO METRÔ DE FORTALEZA.....	22
2.3 FUNCIONAMENTO DA ATIVIDADE DO METRÔ DE FORTALEZA.....	23
3.0 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS ALVOS.....	24
3.1 GEOLOGIA DA ÁREA.....	25
3.1.1 COMPLEXO GRANITÓIDE-MIGMATÍTICO	27
3.1.2 ULTRABASITOS	28
3.1.3 GRANITOS	28
3.1.4 VULCÂNICAS ALCALINAS	29
3.1.5 FORMAÇÃO BARREIRAS.....	30
3.1.6 COBERTURAS COLÚVIO-ELUVIAIS	32
3.1.7 PALEODUNAS	33
3.1.8 DUNAS MÓVEIS OU RECENTES.....	34
3.1.9 AREIAS DE PRAIA.....	35
3.1.10 ALUVIÕES.....	35
3.2 GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO METROFOR	36
4.0 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS	39
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	39

4.2	EFEITO EL NIÑO/LA NIÑA E O REGIME PLUVIOMÉTRICO.....	40
4.3	CLIMA LOCAL.....	43
4.3.1	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	43
4.3.2	REGIME DE VENTOS	45
5.0	RECURSOS HÍDRICOS.....	48
5.1	RECURSOS SUPERFICIAIS	48
5.1.1	ESTUDO HIDROGRÁFICO DA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA..	49
5.1.2	OS PROJETOS EXECUTIVOS DE DRENAGEM	51
5.1.2.1	TAUÁPE (SUB-BACIA B-1)	52
5.1.2.2	RIO COCÓ (SUB-BACIA B-2).....	54
5.1.2.3	LAGOA DA PARANGABA (MICRO-BACIAS C-3.1 e C-3.2).....	55
5.1.2.4	MARANGUAPINHO (MICRO-BACIAS C-3.4, C-3.5 e C-3.6).....	56
5.1.3	PROJETO DE DRENAGEM UTILIZADO.....	60
5.1.4	AÇUDE DE CAUCAIA E LAGOA DO TABAPUÁ	62
5.1.5	MINERAÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	70
5.1.6	IMPACTO AMBIENTAL ATRAVÉS DA MINERAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA.....	82
5.2	ESTUDO HIDROGEOLÓGICO NA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA	84
5.2.1	APLICAÇÃO DE PONTEIRAS FILTRANTES NO REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	85
5.2.2	PONTEIRAS FILTRANTES	87
5.2.3	ANÁLISE DE DEFORMAÇÕES NAS ESCAVAÇÕES	101
5.2.3.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA EM CONSTRUÇÃO	102
	CONCLUSÕES.....	116
	BIBLIOGRAFIA	120

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 01:** Fluxograma Metodológico; p. 16.
- Figura 02:** Mapa de Localização – Projeto METROFOR; p. 18.
- Figura 03:** Ligação SUL – Centro de Manutenção à Estação Conjunto Esperança; p.20.
- Figura 04:** Ligação Sul – Esquema da área subterrânea; p. 21.
- Figura 05:** Localização dos estudos de climatologia; p. 43.
- Figura 06:** Variação dos dias de chuva em Fortaleza – CE; p. 46.
- Figura 07:** Bacias Hidrográfica da região Metropolitana de Fortaleza; p. 49.
- Figura 08:** Gráfico com minerações na Bacia do Rio Cocó; p. 74.
- Figura 09:** Gráfico com minerações na Bacia do Rio Ceará; p. 75.
- Figura 10:** Mapa da RMF, com as áreas de minerações utilizadas no METROFOR; p.77.
- Figura 11:** Gráfico esquemático dos métodos de rebaixamento do lençol freático; p. 87.
- Figura 12:** Escavação parcializada do túnel; p. 91.
- Figura 13:** Seção transversal típica do subsolo; p. 104.
- Figura 14:** Sondagens efetuadas na área; p. 105.
- Figura 15:** Gráfico dos resultados obtidos durante a instrumentação de campo; p. 110.
- Figura 16:** Curva granulométrica a 2,00 metros de profundidade; p. 111.
- Figura 17:** Comparação entre recalques previstos e observados; p. 114.
- Figura 18:** Comparação entre os deslocamentos horizontais previstos e observados.P. 115.

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 01:** Coluna Estratigráfica; p. 26.
- Tabela 02:** Freqüência percentual dos ventos na R.M.F.; p. 46.
- Tabela 03:** Laudo de análise físico-químico da água do Açude Caucaia; p. 65.
- Tabela 04:** Matriz de Correlação dos minerais empregados na obra civil; p. 83.
- Tabela 05:** Tabela de ensaios de permeabilidade e densidade seca "in situ"; p. 109.

ÍNDICE DE QUADROS

- Quadro 01:** Relação de ocorrência do El Nino e La Nina; p. 42.
- Quadro 02:** Coeficiente de permeabilidade e os métodos propostos para rebaixamento; p. 86.
- Quadro 03:** Parâmetros geotécnicos do solo arenoso; p. 112.

ÍNDICE DO MAPA

- Mapa 01:** Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza e as linhas do Trem Metropolitano de Fortaleza –METROFOR; p.38

RESUMO

A dissertação em epígrafe apresenta uma síntese referente às obras de grande porte e suas influências nos meios biótico, abiótico e antrópico, relacionando a falta de estudos anteriores aos projetos, as interações da obra com o meio ambiente, bem como definindo novas diretrizes que poderão ser abordadas em obras como a do Trem Metropolitano de Fortaleza, objeto deste trabalho.

Observou-se dentro do propósito desta dissertação, que nas áreas intervidas pela linha metroviária, após discursão técnica e medidas mitigadoras sobre os projetos, a drenagem superficial tornou-se mais efetiva, uma vez que a construção interveio de forma a redimensionar a drenagem superficial. No trecho subterrâneo, a discursão sobre o rebaixamento do lençol freático e os estudos geotécnicos para recalque e deslocamentos verticais e horizontais foram abordados, e sugeridos também medidas mitigadoras, além de mostrar áreas problemáticas à sociedade, como a presença de plumas de contaminação por hidrocarbonetos, devido à descarga e/ou vazamentos provenientes das distribuidoras de combustíveis e definir novas profundidades para o manto de alteração do embasamento cristalino, contribuindo para a geologia do município de Fortaleza.

Todas as áreas que direta ou indiretamente, sofreram intervenção da rede metroviária, foram alvos de projetos para o tratamento e recuperação, como observados nas áreas de mineração de saibro, areias e os reservatórios d'água, como os casos do açude de Caucaia e da Lagoa do Tabapuá.

A construção do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, trouxe grandes temas para discussão técnica, graças ao empenho do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará – UFC, da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP e do apoio do Consórcio Construtor Queiroz Galvão / Camargo Correia, responsáveis pela construção da superestrutura e infra-estrutura da linha metroviária.

ABSTRAT

This dissertation presents a synthesis of the big engineering works carried out and its effects on biotic, abiotic and anthropic environments, besides to make about the lack of previous studies concerning the project and linking news management action that will be indispensable for works of this kind as it is the Metropolitan Fortaleza Railway.

It was observed within of the dissertation objectives that in the areas interfered by railway line the surface draining was suitable since the construction dimensioned it about the underground section the coming down water sheet was considered and showed its consequences with definition of the problematic sections for knowledge of the public power, due the generation of contamination feather by discharge and/or leakage of fuel from distributors. Also it was responsible for determine tiding depths concerning the top crystalline foundation.

All areas that were reached, direct or indirectly for the net railway line have received special treatment and recuperation, as it has been sight in the places of gravel mining, sand deposits and water reservoirs, as for the example, the Caucaia reservoir and the Tabapuá lagoon.

The construction of the Metropolitan Fortaleza Railway – METROFOR comes to bring important themes for technical discussion in the Federal University of Ceará / Department of Geology, together with the Ceará Foundation of Support to Scientific and Technology Development – FUNCAP and the collaboration of the Associated Builder Queiroz Galvão / Camargo Correia, that are responsible for the super and infra structure construction of this railway line.

1.0 APRESENTAÇÃO

O Projeto METROFOR, em fase de implantação de seu primeiro estágio, compreende a execução das obras da Linha Sul do novo sistema metroviário da área metropolitana de Fortaleza, que interligará o centro da cidade aos municípios vizinhos de Pacatuba, Maracanaú e Maranguape, numa extensão aproximada de 24,1 km. Ele abrange a implantação de um trecho subterrâneo com cerca de 3,8 km de extensão, sob a região central de Fortaleza, além da construção de malha superficial para a linha de cargas.

A Linha Sul inclui a construção de 18 estações de passageiros, desde a região central de Fortaleza até Pacatuba, das quais 4 estão localizados no trecho subterrâneos. No trecho em superfície, o empreendimento inclui a construção de obras civis especiais, tais como viadutos rodoviários e ferroviários, pontes, passagens inferiores e passarelas para pedestres, com o objetivo de contornar os problemas de interferência com outras vias de tráfego e permitir à transposição de cursos d'água.

A implantação do trecho subterrâneo do METROFOR está sendo desenvolvida com o emprego do método "cut-and-cover", abrangendo as etapas de escavação até o nível da laje de cobertura do túnel, seguida da concretagem da mesma. A seguir é realizada a impermeabilização, reaterro sobre a laje de cobertura executada e reurbanização e, por fim, a escavação sob a laje de cobertura e construção do túnel, já com o trânsito de veículos na superfície restabelecido.

O trabalho foi desenvolvido, tomando em consideração uma análise de todo o trajeto, o estudo hidrográfico das bacias onde o mesmo atravessa na Região Metropolitana de Fortaleza, análise do emprego de minerais utilizados para esse segmento de construção civil, estudo hidrogeológico, deformações existentes após a escavação e análise dos impactos da obra ao meio físico e biótico.

A implantação da linha metroviária associada à má gestão dos recursos naturais pode provocar graves prejuízos ambientais, caso não sejam observadas as medidas mitigadoras de impacto ambiental. Na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, de ecossistemas frágeis e equilíbrio instável, devido principalmente a urbanização acelerada e não planejada, a degradação da vegetação, do solo e, em conseqüência, a aceleração dos processos erosivos nas bacias hidrográficas que atravessam essa região, têm intensificado o grau de deterioração desses ambientes, bem como o desequilíbrio ecológico, tudo isso com reflexos ambientais, econômicos e sociais, afetando a qualidade de vida nessas áreas.

O presente estudo tem por objetivo pesquisar e identificar as áreas afetadas pela implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, bem como analisar suas causas e conseqüências. Trata-se de uma análise integrada da natureza e das relações homem x natureza, fundamentada no conceito de ecossistema, (Tansley, 1934 *apud* Tricart, 1977). Pretende-se também tratar da ecodinâmica (conforme critérios de Tricart, 1977) das diversas unidades geoambientais que integram a linha metroviária, considerando suas potencialidades, limitações e vulnerabilidade.

No que se refere aos objetivos específicos, propõe-se:

- elaborar diagnóstico ambiental, visando determinar as limitações/vulnerabilidades das diversas unidades geoambientais pela implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza.
- Diagnosticar o surgimento de áreas em processo de degradação, utilizadas pelo Trem Metropolitano de Fortaleza e desenvolver sua recuperação ambiental;
- Identificar e avaliar as principais causas e conseqüências ambientais e socio-econômicas decorrentes da implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza.
- Analisar as conseqüências da Implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza na hidrografia e nas águas subterrâneas na linha metroviária.

1.1 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Bases Conceituais

Os estudos e pesquisas referentes à análise geoambiental, enfoque principal do presente trabalho, têm como apoio e referencial básico a Teoria Geral dos Sistemas, as literaturas referentes aos estudos geoambientais desenvolvidos no âmbito do Estado do Ceará, e ainda os estudos que tratam da construção de linhas metroviárias e suas conseqüências.

Bertalanffy (*apud* Christofolletti, 1979) foi um dos precursores da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas na Termodinâmica e na Biologia. Embora a teoria tenha sido desenvolvida nos Estados Unidos por R. Defay, já a partir de 1929, só em 1950 – 1951 as contribuições de Bertalanffy a esse ramo da ciência foram “consideradas como formulações básicas de uma doutrina com aplicabilidade universal, estabelecendo os princípios de uma nova ciência” (Christofolletti, 1979) favorecendo sua utilização em outros ramos da ciência.

São várias as definições dadas à Teoria dos Sistemas. Entretanto merecem destaque às proferidas por: Thornes e Brunsden, 1977 (*apud* Christofolletti, 1979) que definem o sistema como “conjunto de objetos ou atributos e das suas relações, que se encontram organizados para executar uma função particular”. A essa definição os autores dão ênfase à questão operadora do sistema, que funciona e executa um determinado tipo de tarefa. Miller (1965, *apud* *ibidem*), define o sistema como um conjunto de unidades com relações entre si, “Conjunto” implica que as unidades possuem propriedades comuns. “O estado de cada unidade é controlado e dependente do estado das outras unidades”. Para Christofolletti, (*op. cit*) o conjunto está organizado em função das interrelações das unidades e, portanto, o seu grau de organização lhe favorece a assunção do caráter de um todo, representando uma grandeza maior que o somatório das partes.

As bases teóricas – metodológicas dos estudos geoambientais estão dentro dessa visão de conjunto que reúne os componentes naturais e dão ênfase aos mecanismos de integração da natureza. Sua utilização na ecologia foi introduzida por Tansley, 1934 (*apud* Tricart, 1977), que definiu ecossistema como “um conjunto de seres vivos, mutuamente dependentes uns dos outros e do meio ambiente no qual eles vivem”.

Sob tal óptica, Bertrand (1971) mostra a importância da paisagem, como um todo, na identificação e delimitação das unidades geossistêmicas, e diz que é o “resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que reagindo dialeticamente uns em relação aos outros, dão à paisagem uma dimensão única e aglutinada, em contínua evolução”. Propõe um sistema de classificação taxonômica de paisagem, onde esse sistema comporta seis níveis tempo-espaciais, com unidades denominadas em função de sua dimensão: a zona, o domínio e a região natural, considerados como unidades superiores; geossistema, geofácies e geótopo, havidas como unidades inferiores.

Bertrand (*op. cit*) busca mostrar que o sistema de evolução de geossistema engloba diferentes formas de energias em uma só e que, interagindo dialeticamente, esses fatores “comuns” determinam o mecanismo de desenvolvimento da paisagem. Esse sistema de evolução pode estar representado por três conjuntos diferentes, porém estreitamente solidários, que se inter cruzam amplamente, que são: sistema geomorfológico e bioclimático; a dinâmica biológica, que intervém no plano da comunidade vegetal e dos solos; e o sistema de exploração antrópica. Essa série de agentes e processos que compreendem o sistema de evolução não são perceptíveis de imediato, porém é possível classificar os sistemas de evolução em função de um ou mais fatores dominantes (geomorfológico, antrópico).

Segundo Tricart (1977), a adoção do conceito de sistema na Ecologia e, posteriormente, a formulação da noção de ecossistema, foram importantes, pois permitiram que os conhecimentos anteriormente dispersos e isolados fossem analisados de forma integrada. O autor considera o conceito de sistema como o melhor instrumento lógico disponível para a

análise dos problemas ambientais, pois “a utilização do instrumento lógico dos sistemas permite identificar rapidamente quais serão as modificações indiretas desencadeada por uma intervenção que afeta tal ou qual outro elemento do ecossistema”.

Ao propor a metodologia baseada na ecodinâmica, Tricart (1977), mostra que “a dinâmica do meio ambiente dos ecossistemas é tão importante para a conservação e o desenvolvimento dos recursos ecológicos quanto à dinâmica das próprias biocenoses”, ou seja, do conjunto dos seres vivos de um ecossistema. E mais, que esses aspectos da dinâmica dos ecossistemas têm relações bem próximas entre si. Salienta também a idéia de que “uma unidade ecodinâmica se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos importantes sobre a biocenoses”.

De acordo com Tricart (*op. cit.*), o conceito de unidade ecodinâmica está integrado no conceito de ecossistema. Para o autor, o mencionado conceito “baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente”.

1.2 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Os procedimentos adotados neste trabalho estão sintetizados na Figura 1, que expõe as etapas e os objetivos da pesquisa, fundamentado na abordagem sistêmica, o qual, dentro da temática ambiental, visa, sobretudo a integração dos elementos que compõem o sistema geoambiental com vistas a uma análise da relação homem/natureza.

De acordo com a Figura 1, na Fase de Análise, procurou-se fazer os levantamentos bibliográficos, tendo como principal alvo a escolha de material a respeito da fundamentação teórico – metodológica a ser adotada, como a Teoria Geral dos Sistemas, a ecodinâmica e os processos integrativos, bem como os que dizem respeito ao tema de implantação de Metrô, hidrografia e hidrogeologia. Também foram executados levantamentos acerca dos recursos naturais, demográficos e aspectos socioeconômicos dos municípios envolvidos na linha metroviária.

Dando continuidade, executou-se o levantamento geocartográfico, onde se desenvolveu as bases cartográficas através da utilização das cartas plani-altimétricas na escala de 1: 100.000, editadas pelo Serviço Geográfico do Ministério do Exército Folha Fortaleza SB.24-Z-C-IV, e também utilizados fotomosaicos das áreas que comportam a linha metroviária, além do mapa Geológico do Projeto SIINFOR (Braga, 1995), que foram à base para análise dos aspectos físicos ambientais dentre os quais a geologia local.

Ainda nessa fase, realizou-se a análise dos componentes que integram o sistema geoambiental de natureza geológica, geomorfológica, climato-hidrológica, e hidrogeológica.

Na Fase de Análise, foram realizados trabalhos de campo para fins de reconhecimento e checagem do material obtido através do levantamento bibliográfico e geocartográfico, além de observações, *in loco*, no que concerne à implantação da linha metroviária. Neste momento foi recolhido dados secundários referente à geotécnica.

Finalizada à Fase de Análise, passou-se à Fase de Síntese (agregação dos dados) e, como resultado, iniciou-se a discussão técnica com equipe multidisciplinar que acompanha a implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza e com o orientador da dissertação.

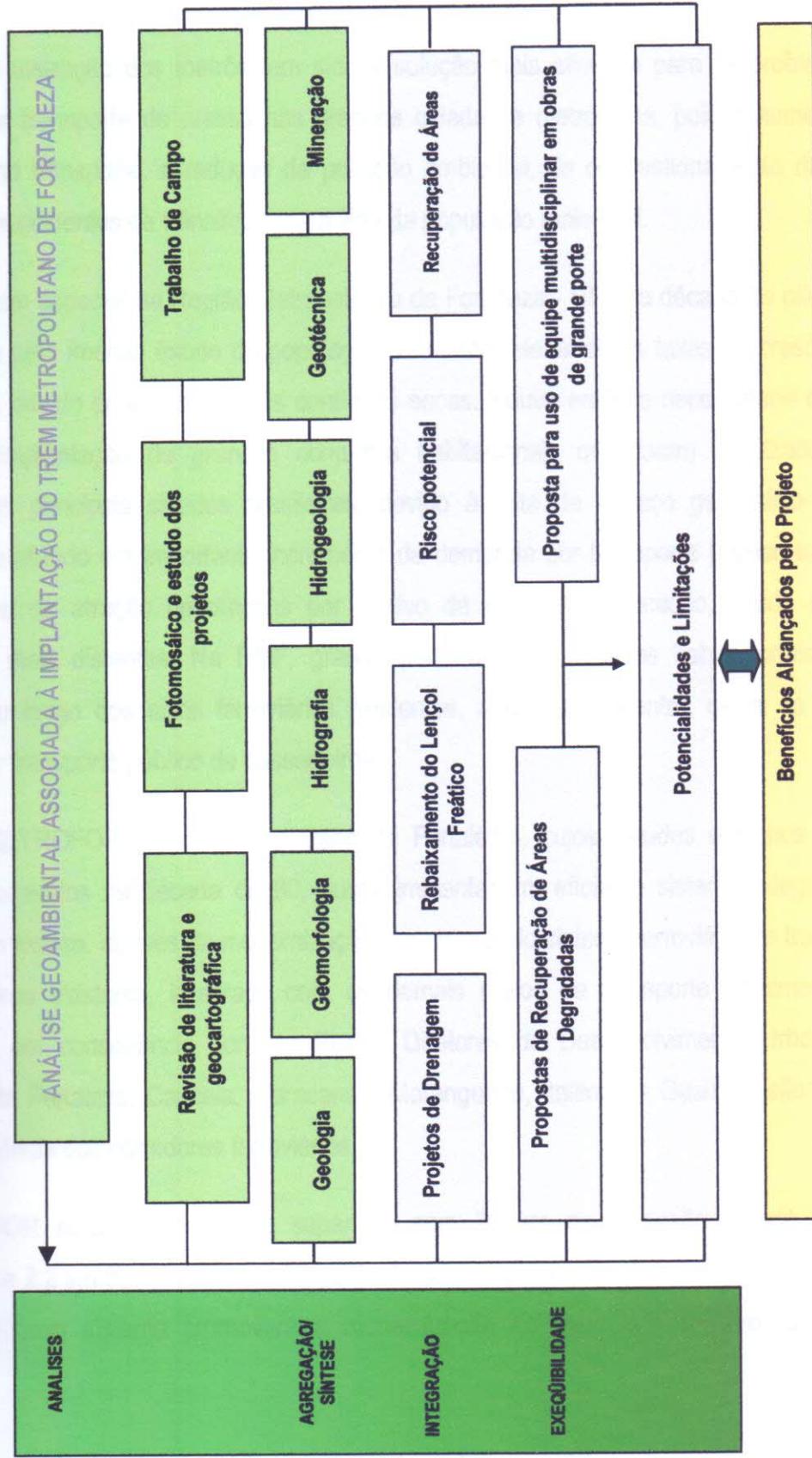
A Fase de integração consistiu na delimitação, definição das unidades geoambientais, limitações, tipologia de uso e índice de interferência humana. Esta fase é definida pela integração de todos os dados e análises anteriormente confeccionadas, e constatações em campo, que possibilitaram uma visão integrada da ecodinâmica das unidades abordadas,

dentro das quais o redimensionamento da drenagem superficial, conseqüências do rebaixamento do lençol freático, mineração, perfil litológico em Fortaleza e a falta de estudos complementares na fase de projetos para obras de grande porte.

Com respeito à Fase de exequibilidade, foram sugeridas algumas propostas para recuperação de áreas degradadas e adequação para o uso e manejo das unidades estudadas, além de promover discussões técnicas sobre a falta de estudos para projetos de grande porte que garantam o uso de equipe multidisciplinar e intradisciplinar.

Este trabalho apresenta os resultados atualmente disponíveis sobre o monitoramento das escavações do Metrô de Fortaleza, monitoramento da linha superficial e da linha de cargas, bem como informações sobre todo o sistema de drenagem superficial e subterrâneo e as interferências das águas no Metrô de Fortaleza e do Metrô sob essas águas, a recuperação de áreas degradadas pela mineração e de áreas utilizada pelo Consórcio Construtor QGCC (Queiroz Galvão – Camargo Corrêa), a discussão e propostas sobre os projetos de grande magnitude, objeto desta dissertação. As informações aqui apresentadas referem-se à fase de construção do Trem Metropolitano de Fortaleza.

Figura 01: FLUXOGRAMA METODOLÓGICO



2.1 INTRODUÇÃO

No mundo a utilização dos metrô tem sido a solução mais eficiente para os problemas e demandas de transporte de massa nas grandes cidades e metrópoles, pois o aumento da capacidade no transporte, a redução da poluição ambiental, do congestionamento das vias urbanas e dos acidentes de trânsito, torna a vida da população mais fácil.

No Brasil, e em especial na Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, a década de oitenta foi representada pelo imenso êxodo da população do sertão, elevando as taxas de crescimento populacional, devido principalmente às contínuas secas. Houve então a necessidade de uma política de implantação de grandes conjuntos habitacionais que foram localizados nas periferias das principais cidades brasileiras, devido à falta de espaço geográfico nestas cidades, acarretando um importante incremento da demanda por transporte público uma vez que os polos de atração de viagens por motivo de emprego, educação, saúde e lazer tornaram-se mais distantes. Na RMF, grande parte dessas unidades habitacionais foram instaladas ao longo dos eixos ferroviários existentes, onde se concentra, cerca de 2/3 da demanda por transporte público de passageiros.

O projeto METROFOR (Trem Metropolitano de Fortaleza), cujos estudos e planos iniciais foram desenvolvidos na década de 80, busca implantar um eficiente sistema integrado de transporte de massa, através da modernização por etapas, do sistema ferroviário de transporte de passageiros existente, integrado com os demais meios de transporte atualmente em operação e em consonância com os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano dos municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú, Maranguape, Itaitinga e Guaiúba, situados na área de influência dos corredores ferroviários.

O METROFOR será um metrô de superfície com 20 km de extensão, sendo 3,8 km subterrâneo e 2,2 km de elevado, sendo o restante do trecho em superfície, implantado em três estágios. O novo sistema promoverá a modernização do transporte coletivo da Região

Metropolitana de Fortaleza. O sistema atenderá aos municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú, Maranguape e Pacatuba, e com sua implantação total, chegará a 485 mil o número de passageiros transportados diariamente.

O investimento total, estimado em US\$ 502 milhões (quinhentos e dois milhões de dólares americanos) inclui os serviços de gerenciamento, apoio técnico e elaboração dos projetos executivos das obras civis, a supervisão, fiscalização e controle de qualidade das obras e serviços, além dos serviços relativos à execução de obras civis, fabricação e fortalecimento de bens necessários à implantação do primeiro e segundo estágios.

Os três primeiros estágios do Projeto compreendem a implantação de 43 Km de via duplicada e eletrificada na linha principal com 34 estações e 18 TUE'S (Trens Urbanos Elétricos), ligando os municípios de Maracanaú, Fortaleza e Caucaia; 07 Km de linha singela para reativação do Ramal de Maranguape que se integrará ao sistema principal utilizando-se de tração diesel; 33 Km de linha singela e a implantação de um pátio de cargas para o sistema RFFSA.

A implantação do Projeto METROFOR, indicado no mapa abaixo (figura 01), compreende: o 1º estágio (linha vermelha e linha azul tracejada, na figura 01); o 2º estágio (linha verde, tracejada na figura 01) e o 3º estágio (linhas vermelha, verde e cinza, tracejada na figura 01).

A linha denominada Leste, concebida preliminarmente como o trecho João Felipe a Aldeota (Papicu) conforme indicada na figura 01 na cor rósea e a utilização da linha do ramal ferroviário Parangaba-Mucuripe como eixo de transporte de passageiro, indicado em traço azul contínuo, não estão incluídas no programa de implantação dos três Estágios do Projeto METROFOR. Trata-se do plano de expansão do sistema, na medida em que se pretende que o mesmo venha a se consolidar como uma rede integrada de transporte, compatível com a demanda dos cenários futuros.

1º Estágio

O primeiro estágio corresponde à construção da Linha Sul que interliga a estação João Felipe, em Fortaleza, a Vila das Flores, no município de Pacatuba. Neste trecho, estão previstas

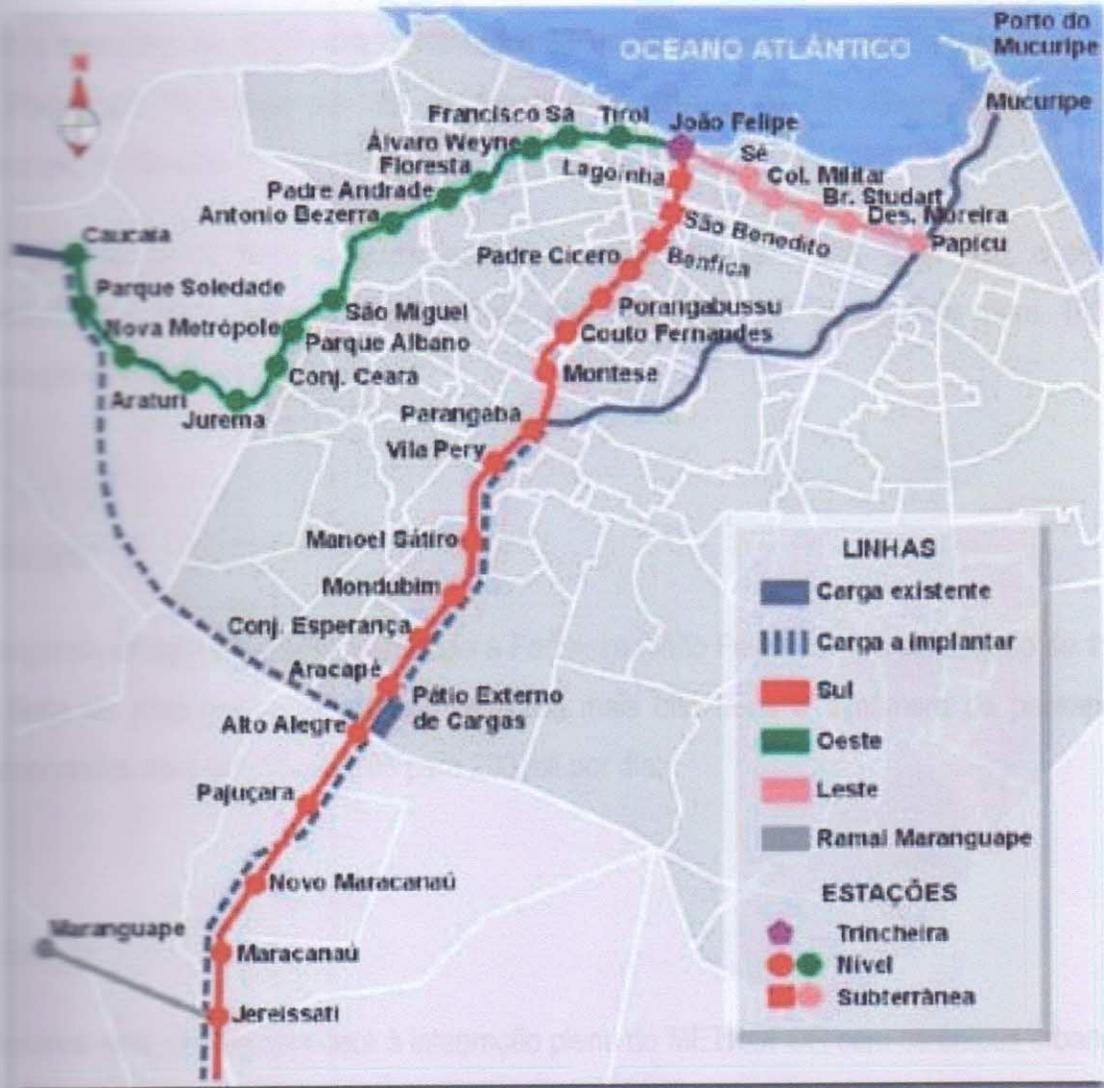


Figura 02: Concepção do projeto do Trem Metropolitano de Fortaleza - METROFOR e seus estágios de implantação.

obras de duplicação da via e separação do sistema de cargas e passageiros reforma e construção de estações, oficinas, centro administrativo e centro de manutenção.

Serão implantados 24 km de via dupla para transporte de passageiros, sendo 3,8 km subterrâneos, correspondentes ao percurso entre a avenida Filomeno Gomes, no Centro de Fortaleza, e a avenida Padre Cícero, no bairro de Porangabussu e 2,2 km de via elevada entre Cauto Fernandes e Vila Pery.

Para o transporte de carga serão construídos 33 km de linha que abrange os trechos do bairro de Parangaba (Fortaleza) até Vila das Flores e da estação de Alto Alegre (Maracanaú) ao município de Caucaia.

O orçamento desta primeira etapa inclui a aquisição de dez trens. Com isso, o sistema ampliará sua capacidade de atendimento dos atuais 26 mil passageiros para 185 mil passageiros diariamente.

2º Estágio

O segundo estágio vai interligar Caucaia à Fortaleza (João Felipe) com a construção de 19 km de linha de passageiros. O sistema receberá mais oito trens e o número de passageiros transportados será elevado de 185 para 290 mil por dia.

3º Estágio

O terceiro estágio corresponderá à integração plena do METROFOR com os ônibus urbanos e metropolitanos e com veículos particulares. Nessa fase ainda será feita uma avaliação quanto à necessidade do aumento no número de estações e do acréscimo de trens à linha de passageiros Maracanaú-Fortaleza-Caucaia.

A construção do ramal que vai do Conjunto Jereissati, em Maracanaú, à cidade de Maranguape, também está prevista para o terceiro estágio. Esse ramal será operado com trens de tração a diesel.

Companhia de Engenharia de Transportes Urbanos - Companhia de Engenharia de Transportes Urbanos

METRÔ DE FORTALEZA - LIGAÇÃO SUL ESTAÇÃO PADRE CICERO A ESTAÇÃO JOÃO FELIPE



VISTA DO INÍCIO DO TRAÇADO E DA INTERSEÇÃO DA LAJE DE TETO E DA GALERIA DE ESTAÇÕES



ESTAÇÃO BENFICA, EXECUÇÃO DE FORMA E ARMAÇÃO DAS PAREDES



ESTAÇÃO SÃO BENEDITO, VISTA GERAL DA ESTAÇÃO E ACERVO



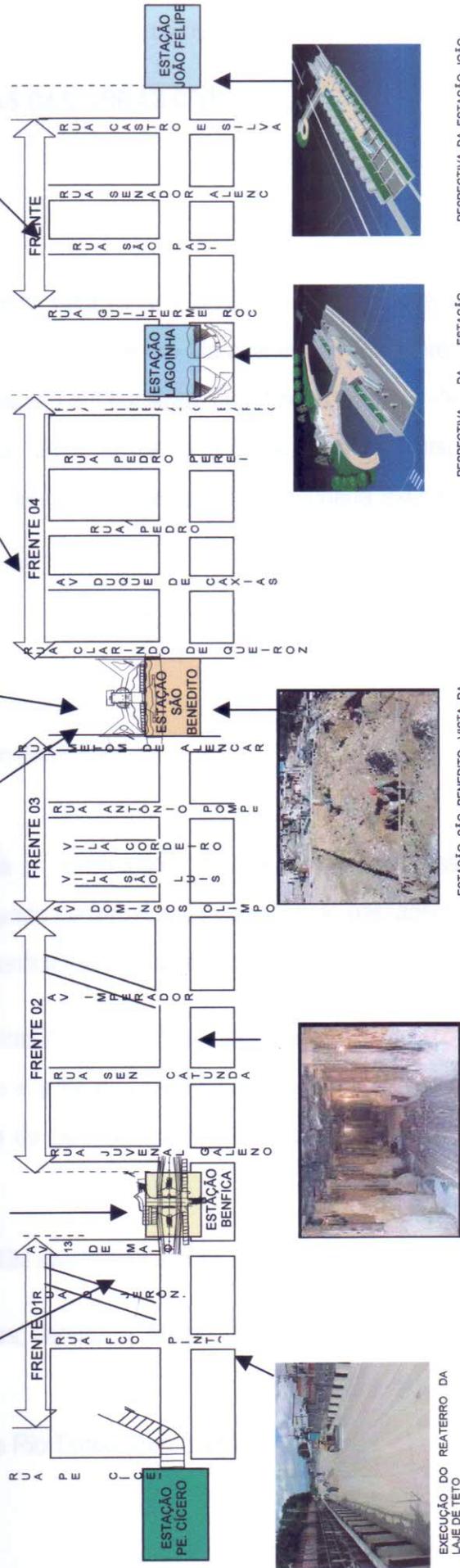
ESTAÇÃO SÃO BENEDITO, ARMAÇÃO DA LAJE DE FUNDO



CONCRETAÇÃO DAS FICHAS DAS LAMELAS PRÉ-MOLDADAS LANÇADAS NA AV. DUQUE DE CAXIAS



PAVIMENTAÇÃO E URBANIZAÇÃO CONCLUÍDAS



EXECUÇÃO DO REATERRO DA LAJE DE TETO



VISTA GERAL DO TÚNEL



ESTAÇÃO SÃO BENEDITO, VISTA DA EXECUÇÃO DOS BLOCOS DE COROAMENTO



PERSPECTIVA DA ESTAÇÃO LAGOINHA



PERSPECTIVA DA ESTAÇÃO JOÃO FELIPE

Figura 04: Esquema do trecho Subterrâneo entre a Estação Padre Cicero e Estação João Felipe.

2.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS CIVIS

Conforme descrito, a linha férrea construída, para variante de carga, sai da cidade de Caucaia, ao Norte até a Estação de Passageiros em Aracapé em Maracanaú, ao Sul (apresentado no mapa de localização, figura 01, com tracejado em cor azul), num trecho de cerca de 16 Km de extensão. Ao longo do trecho, a linha férrea cruza rodovias e alguns recursos hídricos existentes. São listadas, abaixo, todas as obras especiais de engenharia executadas neste trecho.

Ponte do Rio Ceará I;

Ponte do Rio Ceará II;

Viaduto Rodoviário na BR-020;

Viaduto Ferroviário na CE-065 Av. Osório de Paiva;

Ponte Ferroviária sobre o Rio Siqueira.

O trecho Norte-Sul, onde se encontra a construção do túnel subterrâneo nas Avenidas Carapina e Tristão Gonçalves, esta sendo construídas 03 estações de passageiros, também subterrâneas, chamadas de Estações Benfica, São Benedito e Lagoinha.

Além neste trecho, estão sendo construídos 03 Viadutos rodoviários, sendo 01 na Av. do Cantão, o segundo na Rua do Oriente e a terceira na Av. Antônio Justa, todos no município de Maracanaú, além de 02 passarelas de pedestre, sendo uma em Maracanaú e outra no Novo Maracanaú.

As obras especiais deste trecho, que estão sendo executadas, são as seguintes:

Estações Superficiais de Vila das Flores, Jereissati, Maracanaú, Novo Maracanaú, Pajuçara, Alta Alegria e Acarape;

Ponte ferroviária para passageiros sobre Rio Timbó (executada);

Passagem ferroviária para cargas sobre Rio Timbó (executado);

Passagem Inferior Valdemar de Lima (em execução);

Passagem Inferior do Contorno (em execução);

Passagem Inferior da Linha de Carga (em execução) e

Pátio Vila das Flores.

Até novembro de 2001 as obras estavam direcionadas para o trecho subterrâneo, as estações desse trecho e entre as estações do Acarape à Vila das Flores. O trecho superficial localizado entre a Estação do Acarape e a faixa de transição (Av. Padre Cícero com José Bastos) está paralisado aguardando empenho e ordem de serviço.

Outros aspectos ambientais relevantes foram identificados durante a execução da obra, serão abordados neste trabalho. Um caso típico consiste na identificação de impactos adversos causados por outras atividades completamente desassociadas do projeto em questão, como a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos por hidrocarbonetos, ou a acumulação das águas superficiais pela extração clandestina de material para a construção, gerando locais propícios à proliferação de vetores de doenças infecto-contagiosas.

O principal resultado deste trabalho foi à identificação e resolução, em nível de propostas de manejo, dos problemas gerados pela interação entre os agentes dinâmicos e a construção da obra mencionada na escala espaço-temporal do homem, mediante utilização dos meios técnicos e econômicos que ele possui.

2.2 IMPLANTAÇÃO DA ATIVIDADE DO METRÔ DE FORTALEZA

Para a implantação da atividade foram considerados os seguintes processos:

- a) investigações geológico-geotécnicas: estas investigações tiveram como finalidade à obtenção de dados para subsidiar os estudos básicos da obra. Consistiram,

principalmente, de desmatamento para abertura de picadas, escavações (poços e trincheiras), sondagens mecânicas e levantamentos geofísicos como eletroresistividade e uso de GPR (Radar de Penetração no Solo). No caso de ferrovias, estas investigações se deram ao longo do provável traçado, e dependendo do porte da obra, atravessara grandes extensões e diversificados contextos ambientais;

- b) movimentação de solo e rocha: compreendendo a abertura de cortes e execução de aterros para a ferrovia, estação, terminais de carga e pátio de manobras; escavação de túneis e das fundações de pontes e viadutos; exploração de áreas de empréstimo para obtenção de solos e rochas a serem utilizados em aterros e no lastro; disposição do material excedente dos cortes e escavações em bota-foras; e abertura de estradas de serviço;
- c) execução das obras de contenção, de drenagem e de proteção superficial: a função principal destas obras é garantir a estabilidade dos cortes e aterros, retardando os processos erosivos e de movimentação de massa, tais como escorregamentos, rastejo de solo e queda de blocos ou detritos;
- d) implantação da via propriamente dita: compreendendo a execução do lastro e a instalação dos dormentes, trilhos e aparelhos acessórios;
- e) instalação de equipamentos e dispositivos de sinalização e segurança: incluindo iluminação, ventilação de túneis, sinalização de cruzamentos entre ferrovias ou com rodovias e cancelas;
- f) construção de estações e pátios, para embarque e desembarque de passageiros e carga, bem como para permitir a manobra dos trens.

2.2.2.3. FUNCIONAMENTO DA ATIVIDADE DO METRÔ DE FORTALEZA

O funcionamento da atividade envolve:

- a) tráfego de trens de carga e de passageiros;
- b) manutenção preventiva ou corretiva: dos trens; do lastro, dos dormentes, dos trilhos e aparelhos acessórios; das obras de drenagem, da proteção superficial e contenção nos cortes e aterros; dos túneis, das pontes e viadutos; dos equipamentos e dispositivos de sinalização e segurança; das estações e pátios.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS ALVOS

O estudo se refere a implantação dos trechos do METROFOR, tanto ao trecho central da linha tronco sul, subterrâneo, como dos restantes dos trechos em superfície.

A caracterização geológica da área foi feita através de levantamento de sondagens e de mapeamento superficial, a qual foi subdividida em duas sub-áreas. A primeira, representando o trecho central da cidade de Fortaleza, apresenta uma camada superficial de aterro com espessura média de 2,00 metros, composto principalmente de material arenoso, seguida de uma camada constituída de areia, de granulação fina à média, constituída essencialmente de quartzo de coloração clara, bem selecionado, possivelmente gerado a partir de antigas dunas. Os ensaios de compactação e índice de suporte de carga apresentam valores superiores a 12 golpes, ou seja, suporte de carga de 1 kg/cm², de acordo com os testes realizados com SPT (Standard Penetration Test) oscilando na área até 3,50 metros de profundidade. A segunda camada é representada por um sedimento arenoso, pouco argiloso, com pedregulhos, de coloração amarelada à vermelha, com espessura média de 10,00 metros, semelhantes as fácies dos sedimentos da Formação Barreiras, apresenta SPT com média 30 golpes ou suporte de carga com 4 Kg/cm². Abaixo dessas camadas, há uma camada mais argilosa, outra fácies dessa Formação, com presença de seixos. Foi encontrado o cristalino a partir de 17,00 metros, de acordo com os perfis analisados no projeto do trem Metropolitano de Fortaleza.

O nível da lençol freático oscila entre 1,00 metro e 7,60 metros, que será discutido a seguir. A drenagem superficial da área é direcionada para o sistema de drenagem superficial de

Fortaleza e da sua região Metropolitana, tendo como destino final o Oceano Atlântico, vias canais drenantes que atravessam a cidade, como o canal do Jardim América (Riacho Aquariabi), drenagens subterrâneas, e os riachos e rios como o Maranguapinho e Ceará.

2.1 GEOLOGIA DA ÁREA

Foi abordada nesta dissertação a geologia enquadrada na Região Metropolitana de Fortaleza, de acordo com o Projeto Fortaleza e Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza (Projeto SINFOR). Os terrenos gnáissico-migmatíticos ocupam a parte sul deste sistema, localizados próximo a cidade de Maracanaú e Pacatuba, incluindo tanto segmentos de infraestrutura como supracrustais, recebendo denominações litoestratigráficas diversas na literatura.

Manifestações magmáticas atribuídas ao Evento Brasileiro foram evidenciadas, sendo materializadas, principalmente, através de corpos plutônicos de natureza granítica que ocorrem encaixados nos litotipos precedentes, bem como por corpos tabulares que seccionam indistintamente as unidades mais antigas.

A região estudada insere-se, em sua maior parte por uma extensa faixa sedimentar, que se desenvolveu a partir da deposição de sedimentos terrígenos, ocorrida pelo final do período Terciário e início do Quaternário. Sendo oriundos dos terrenos cristalinos, atualmente expostos na região, consistem numa sucessão de leitos e lentes de sedimentos clásticos, pouco consolidados, retrabalhados principalmente pela ação das águas superficiais e subterrâneas, constituindo a unidade litoestratigráfica denominada, segundo Braga *et al.* (1977), *in* Gurgel - (1994), de Grupo Barreiras.

Por cima do arcaísmo estratigráfico da área, foram individualizadas as coberturas aluviais, Paleodunas, Dunas Móveis e Depósitos Flúvio-Aluvionares e de mangues.

A seguir será apresentada a Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Fortaleza – RMEF, sugerida pelo Projeto SINFOR, Braga *et al.* 1994.

		UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
QUATERNÁRIO	Qa	Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues	Areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes.
	Qd	Dunas Móveis ou Recentes	Areias esbranquiçadas, de granulação fina à média, bem selecionadas, quartzosas, com grãos de quartzo foscas e arredondados, muitas vezes encerrando níveis de minerais pesados (principalmente ilminita).
	Qpd	Paleodunas	Areias de coloração amarelada e acinzentada, de granulação fina à média, por vezes siltosas, bem selecionadas, de composição quartzosa ou quartzo-feldspática.
	TQc	Coberturas Colúvio-Eluviais	Sedimentos areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina à média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes laterizados na base.
	Tb	Formação Barreiras	Sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada freqüentemente de aspecto mosqueado, mal selecionado, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulínica com cimento argilo-ferruginoso e às vezes silicoso.
TERCIÁRIO	TA	Vulcânicas Alcalinas	Fonolitos, traquitos, tufos e essexitos
SUPERIÓR	PEY2	Granitos	PeY2: Leucogranitos rosados, isotrópicos, ricos em muscovita, de granulação grossa a freqüentemente pegmatóide, constituindo um corpo circular de posicionamento pós-tectônico.
	PEY1		PeY1: Granitóides mesocráticos, exibindo foliação mais ou menos nítida e freqüentemente encerrando enclaves gnaissificados de composição variadas, constituindo corpos de posicionamento tardi a pós-tectônico.
	PEub	Ultrabásitos	Piroxenitos de coloração preto-esverdeada, maciços e de granulação média.
	PE gr-mg	Complexo Granitóide - Migmatítico	Domínio de biotita-gnaisse para e ortoderivados, com ou sem muscovita, anfibólio, granada e sillimanita, parcial ou totalmente migmatizados. Áreas com predominância de migmatitos: mg. Inclui também lentes de calcário cristalino (cc) e de muscovita-quartzitos (qt).
PE gr-mg	Complexo Granitóide Migmatítico	Domínio de ortognaisses graníticos e migmatitos diversos, com freqüência encerrando lentes anfibolíticas.	

Fonte: Coluna Estratigráfica da Região Metropolitana de Fortaleza. In Brandão R. L. (1995, CPRM).

3.1.1 COMPLEXO GRANITÓIDE-MIGMATÍTICO

Braga *et al.* (1977) reuniram no Complexo Tamboril – Santa Quitéria os granitóides diversos, migmatitos (diatexitos dominantes) e gnaisses migmatíticos que ocorrem a sudoeste de Fortaleza, abrangendo as regiões de Maranguape, Pacatuba e porção norte do maciço de Baurité. Esta unidade exibe-se de forma ovalada com eixo maior orientado na direção NE-SW. Apresenta litótipos foliados na periferia, desde gnaisses e gnaisses migmatizados até migmatitos metatexíticos, passando para o interior, a migmatitos diatexíticos e núcleos granitóides nas porções centrais. A passagem de uma fácies para outra é gradual, com perda de foliação dos gnaisses e migmatitos gnáissicos, para estruturas de fluxo e difusa dos migmatitos diatexíticos, até a homogeneização franca dos núcleos centrais, onde as rochas se empieçam de uma blastese potássica, que propicia a formação de litótipos de composição próxima dos granitos.

Nascimento *et al.* (1981) consideram o Complexo Tamboril – Santa Quitéria de Braga *et al.* (1984) como uma individualização litológica, constituída predominantemente de granitos e migmatitos, dentro do Complexo Nordestino, o qual foi caracterizado por uma ampla e complexa associação litológica em que predominam migmatitos, gnaisses, gnaisses migmatizados e granitóides, incluindo ainda anfibolitos, quartzitos, metarcóseos, calcários cristalinos, xistos e calcissilicatadas.

No trabalho intitulado Mapa geológico da região Metropolitana de Fortaleza – CPRM, 1995, utilizou-se à designação de Complexo Granitóide – Migmatítico para este conjunto ortoterminado que ocorre à sudoeste da área, redefinindo-se os termos litológicos do Complexo Nordestino de Nascimento *et al.*, através da exclusão das rochas paraderivadas inseridas nesta unidade.

Seus limites com os litotipos pertencentes ao Complexo Gnáissico-Migmatítico não são bem definidos, devido ao forte relacionamento tectônico existentes entre as duas unidades. As melhores exposições situam-se nos setores morfológicamente mais elevados, compreendendo as serras de Maranguape e Pacatuba, as quais apresentam uma constituição predominantemente granitóide e podem ser entendidas como relevos residuais, formados a partir da erosão diferencial que rebaixou as áreas gnáissicas circundantes.

3.1.2 ULTRABASITOS

Na porção sudoeste, próximo à borda da Serra de Maranguape, ocorre um corpo ultrabásico conhecido como serrote Manoel Gonçalves, de forma elipsoidal e alinhamento grosseiramente segundo a direção N – S. Esse ultrabásito, na verdade, trata-se de um piroxenito, de coloração preto-esverdeada, maciço e de granulação média in Brandão et. al., Projeto SINFOR, 1995.

Este serrote apresenta-se encaixado na seqüência gnáissico-migmatítica e os afloramentos constituem-se de blocos de diâmetro variado, soltos em superfície.

O posicionamento estratigráfico está relacionado ao final do Proterozóico Inferior (Braga et. al, 1977) com idades próximas a 1.800 m.a.

3.1.3 GRANITOS

No contexto geológico da Faixa de Dobramentos Jaguariberana inúmeros corpos granitóides, sob a forma de stocks e batólitos foram relacionados ao Evento Brasileiro (440 – 700 m.a.).

Braga *et. al.* (1977), agruparam todos os granitos e rochas afins, que ocorrem na área estudada, com a denominação genérica de Rochas Plutônicas Granulares, sem conotação cronológica distinta em relação aos outros representantes pré-cambrianos.

Gomes *et. al.* (1981), considerou que a ocorrência de corpos pouco deformados, associados a parâmetros como aspectos químicos, petrográficos e geocronológicos, sugeriria uma idade Brasiliana, enquanto que corpos granitóides de idade anterior, devido à superposição dos eventos do Pré-Cambriano Superior, seriam transformados em rochas foliadas, indistinguíveis de outras geneticamente distintas.

As rochas plutônicas de natureza granitóide, também foram classificadas, preliminarmente, com referências às fases deformacionais do Ciclo Brasileiro. O caráter preliminar desta classificação deve-se à carência de dados geocronológicos, análises químicas e relações tectono-estruturais com as encaixantes que associadas à complexidade geológica permitem apenas esboçar um posicionamento para estes corpos.

De acordo com Brandão *et. al.* (1994) os granitos foram admitidos como cedo a sintectônicos, constituindo pequenos corpos não cartografáveis, notadamente estratóides, com acentuada deformação e materializados por ortognaisses, com ou sem facóides feldspáticos, intercalados nas seqüências eoproterozóicas.

Os plutônicos são considerados como tardi a pós-tectônicos, encaixados nos terrenos gnáissico-migmatíticos. Brandão (1994), identificou um significativo corpo granítico, na porção sul da R.M.F. (Região Metropolitana de Fortaleza) de dimensões batolíticas, considerando-o de posicionamento pós-tectônico.

2.2.4 VULCÂNICAS ALCALINAS

Na R.M.F. foram cartografados alguns corpos sob a forma de *necks* ou *plugs*, os quais sobressaem-se topograficamente como elevações circulares e elipsoidais. Foram identificados vários diques de natureza alcalina, muitas vezes sem representatividade cartográfica.

Segundo Braga et al. (1977) integrou os corpos alcalinos que ocorrem na folha Fortaleza (esc. 1:50.000), identificando necks e diques, com quatro variedades petrográficas, sendo fonolitos, basaltos, tufos e essexitos. Os diques observados ocorrem encaixados em biotita-gnaisses e granitoides, apresentando semelhanças ou pequenas variações texturais.

3.1.5 FORMAÇÃO BARREIRAS

Esta unidade distribui-se como uma faixa de largura variável acompanhando a linha de costa, à retaguarda dos sedimentos eólicos antigos e atuais e encontram-se capeados também pelos sedimentos flúvio-aluviários ao longo dos rios e riachos. O contato entre a Formação Barreiras e as rochas do embasamento cristalinas fazem-se por discordância angular erosiva. Sua espessura é bastante variável, decorrente do seu relacionamento com a superfície irregular do embasamento cristalino e do processo erosivo causado pelos rios e riachos, aprofundando-se em direção à costa, onde se encontra sotoposta aos sedimentos eólicos que constituem as dunas, sendo o contato difícil de ser marcado, devido principalmente ao lixiviamento intenso nessas áreas sedimentares, formando solos arenosos que podem ser facilmente confundidos com as dunas que se encontram rebaixadas ao nível dos tabuleiros.

Litologicamente essa seqüência é representada de sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados, de coloração variada e de matizes avermelhadas, amareladas, creme e cinza esbranquiçadas, muitas vezes com aspectos mosqueados, mal selecionados, de granulação variando de fina à média, mostrando horizontes conglomeráticos e níveis lateríticos, sem cota definida, em geral associados à percolação de água subterrânea.

A matriz apresenta material argiloso caulínico e cimento argiloso, ferruginoso ou silicoso. Aparecem ainda níveis argilosos variegados. De uma maneira geral a interdigitação faciológica

Os níveis erosivos dos paleo-canais, não permitem que se estabeleça um perfil típico para esta unidade litoestratigráfica, a não ser em pontos localizados.

A unidade apresenta-se estruturalmente horizontalizada, não se distinguindo estratificação, havendo um visível paralelismo entre os níveis de constituição faciológicas diferentes. Também se observando variações faciológicas no sentido horizontal. As concreções são compostas por grãos de quartzo cimentados por material ferruginoso.



Fig. 11 - Escavação realizada no túnel do Trem Metropolitano de Fortaleza, nos sedimentos da Formação Barreiras. Em 2º plano observa-se o perfil dos sedimentos areno-argilosos com níveis conglomeráticos a uma profundidade de 09 metros.

De acordo com estudos de Biggarella, 1975 *in*: Brandão 1995, atribui-se uma idade miocênica superior a pleistocênica para esta unidade. O caráter ambiental é admitido como predominantemente continental, onde os sedimentos foram depositados sob condições do clima semi-árido sujeito a chuvas esporádicas e violentas, formando amplas faixas de leques aluviais coalescentes em sopés de encostas mais ou menos íngrimes. Durante esta época o

nível do mar era mais baixo que o atual, proporcionando o recobrimento de uma ampla plataforma.

3.1.5 COBERTURAS COLÚVIO-ELUVIAIS

Distribui-se de forma irregular na área constituindo manchas que se assentam diretamente sobre os litotipos pré-cambrianos, com espessura reduzida. Esses depósitos são resultantes do intemperismo "in situ" ou com pequeno deslocamento gravitacional. Morfologicamente caracterizam-se como tabuleiros aplainados, muitas vezes rebaixados ao nível da superfície costeira. Na zona costeira as semelhanças verificadas com os sedimentos litorâneos dificultam o traçado de um contato definido entre os dois tipos de depósitos. Sendo assim, algumas áreas mapeadas como Coberturas Colúvio-Eluviais, é possível que correspondam a sedimentos pertencentes à Formação Barreiras e vice-versa.

As coberturas aluviais são resultantes da profunda decomposição e lixiviação das rochas do embasamento, geralmente formando platôs de borda dissecadas. Algumas vezes conservam resquícios de estruturas gnáissicas e fragmentos de veios de quartzo. Litologicamente esses sedimentos foram caracterizados por Braga *et. al.* (1977), como material areno-argiloso, arenoso e/ou avermelhado, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseiro, inconsolidado, com horizonte laterizado na base. A matriz é areno-argilosa caulínica, com cimento argiloso e/ou ferruginoso. São constituídas por grãos de quartzo, imaturos e pouco desgastados, com ocasionais pontuações de opacos, palhetas de mica e grãos de feldspato em vias de alteração.

Nas áreas serranas pode-se distinguir três zonas principais, onde predominam movimentos com componente gravitacional dominante: a) uma zona primária de fornecimento de clásticos grossos; b) zona de talus a meia encosta que representa, ao mesmo tempo, área fonte e de deposição de detritos, com mistura de material coluvionar de todas as granulações e c) zona

de deposição final, nas partes mais baixas das encostas, onde se colocam cones de dejeção e depósitos de piemonte em condições de estabilidade. Esses depósitos são normalmente inconsolidados, mal classificados, formado por seixos, blocos, matacões, grãos de areia e, às vezes, argilas impuras.

3.2.7 PALEODUNAS

Formam corpos de sedimentos arenosos inconsolidados distribuídos em toda zona litorânea, inclusive na parte central do município de Fortaleza. Repousam discordantemente sobre os sedimentos do Grupo Barreiras, sendo que em direção do interior formam um capeamento irregular e descontínuo. Nessa zona, o limite entre esses sedimentos não é possível de ser marcado em mapa, sendo por isso, delimitado por contato inferido.

Representam as dunas antigas, cobertas por uma flora estável, principalmente na zona litorânea, onde possuem coloração branco-acinzentada refletindo o efeito da presença de matéria orgânica. São sedimentos eólicos mais oxidados que as dunas recentes e em alguns locais, onde possuem espessuras elevadas, já exibem alguma compactação.

São recortadas por rios e riachos que drenam essa área, sendo por vezes, quando o nível de marém permite, localmente encobertas pelas aluviões. Em alguns pontos, notam-se sua influência sobre a morfologia desses elementos hidrográficos, fazendo-se presente de forma acentuada sobre canais de rios e riachos.

Sua espessura varia em torno de 25 metros, atingindo valores maiores nas imediações do bairro do Papicu. Em direção ao interior acham-se rebaixadas, com progressiva diminuição na espessura, podendo verificar-se em alguns locais onde são explorados barreiros com contato direto com a Formação Barreiras.

Constitui-se de areias com matizes amarelados, alaranjados ou avermelhados (quando muito oxidadas) e cinza-claros (quando na presença de matéria orgânica), com granulação variando de fina à média, composta principalmente por grãos de quartzo foscos. Texturalmente acham-se bem classificados, com grãos subarredondados (menores) a arredondados (maiores). São sedimentos que denotam transporte eólico, achando-se em alguns locais algo compactados.

3.1.8 DUNAS MÓVEIS OU RECENTES

Formam um cordão contínuo de areias secas que se desenvolvem ao longo das praias, principalmente no setor Nordeste do município de Fortaleza.

As dunas recentes formam, um grande, porém estreito depósito eólico, com espessuras médias de 20 metros, chegando cerca de 45 metros de altitude nas zonas de cristas. São desnudas de cobertura vegetal, o que permite uma intensificação da ação do vento, dando curso à migração dessas dunas que se encontram assoreando cursos d'água, lagoas e o mangue do Rio Cocó.

Seus contatos em relação às unidades sotopostas parecem ser abruptos, podendo ser notado, nessa área, seu contato com as aluviões (facilmente demarcado em fotografia) e com as dunas antigas, sendo esse último bastante difícil de ser marcado.

Constitui-se de areias de cores claras, comumente esbranquiçadas, de granulação fina, formadas principalmente por grãos de quartzo comumente foscos (raramente polidos), contendo raras concentrações ou leitos de minerais pesados. Texturalmente apresentam-se bem classificadas, com grãos arredondados. São sedimentos inconsolidados, associados a ambiente marinho raso, onde não se observa a laminação da estratificação horizontal. Podem ser vistas, por vezes, nas encostas a barlaventos, marcas ondulares eólicas.

3.1.9 AREIAS DE PRAIA

Formam corpos de areia alongados por toda extensão da costa entre os limites de baixa maré e o início das dunas móveis, onde o nível freático das águas subterrâneas se aprofunda e as areias tornam-se secas e bem selecionadas pelo constante trabalho eólico.

Nas praias a nordeste da área, a faixa de areia de praia fica caracterizada, compreendendo as partes pós-praia e antepaia (Gurgel Jr., 1984). A primeira é a área que começa no limite de preamar e estende-se até a base das dunas, nessa área desenvolve-se uma vegetação rasteira e por vezes formam-se pequenos bancos de areia seca e lagoas freáticas. A segunda é a zona frontal entre os limites de preamar e baixa mar.

Consistem em depósitos de areia de granulação média, às vezes grosseiras, comumente laminados e bem selecionados, formados pela ação das ondas. São constituídos principalmente por grãos de quartzo polidos e bem retrabalhados pelas ondas, contudo aparecem com frequência grãos de feldspatos potássicos e concentrações diminutas de minerais pesados, onde a ilmenita constitui o mineral opaco dominante.

3.1.10 ALUVIÕES

Constituem as faixas sedimentares, dispostas principalmente ao longo dos rios e riachos. São representados pelos materiais transportados pelas águas superficiais e depositados nos baixios de inundação, formados ao comprido dos rios e riachos, lagoas, sedimentos lacustres e de mangue.

Nos leitos dos riachos e córregos que drenam a área de cobertura sedimentar, essas aluviões (em sua maioria) provêm do retrabalhamento de arenitos argilosos dominante da Formação Barreiras, nesses locais depositam-se principalmente argilas de coloração escura. Em torno e

à jusante dos reservatórios naturais, encontram-se comumente areias, argila e silte (com matéria orgânica).

Merecem destaque as aluviões do Rio Cocó que chegam a alcançar 1,3 Km de largura (com espessuras entre 5 e 17 metros), estreitando-se e tornando-se pouco espessos (5 a 2 metros) à medida que se afastam do litoral.

Nas lagoas (costeiras e interiores) são depositados, principalmente, sedimentos pelíticos e grande quantidade de matéria orgânica. Na primeira é comum a presença de camadas de diatomito, muitas vezes com volume suficiente para serem exploradas economicamente.

Nos ambientes estuarinos ou de planícies fluvio-marinhas formam-se depósitos siltico-argiloos, ricos em matéria orgânica, que sustentam uma vegetação de mangue. Não se restringem apenas às desembocaduras, desenvolvendo-se também nos baixos cursos dos rios até onde se faz sentir a influência marinha. O contato de água doce com água salgada proporciona a flocculação de argilas, resultando na deposição de material escuro e lamacento que aumenta a cada período de maré cheia até formar o ambiente propício à instalação dos manguezais.

3.2 GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO METROFOR

A área onde se situa a construção do Metro de Fortaleza, esta inserida nos seguintes ambientes morfológicos. O primeiro ambiente é a planície litorânea, que compreende as praias, modelada por seus campos de dunas à retaguarda, recortadas por pequenas planícies aluviais, como os rios Ceará, Maranguapinho, Cocó e Pacoti.

A planície litorânea é dinâmica, sendo moldada e remodelada continuamente pelos ventos, marés, os fluxos de corrente marinha e atualmente através das obras de engenharia civil, ou obras litorâneas, como a construção do Porto do Mucuripe e os espigões (ou molhes) de

contenção ao avanço da linha de preamar, construídos na costa ocidental da cidade de Fortaleza.

As praias se apresentam com estreitas faixas de areias situadas entre os fluxos intramarés, apresentando em alguns locais uma berma extensa e em outros a inexistência dessa unidade de compartimentação morfogeológica. A existência de campos de dunas de retaguarda pode ser observada especificamente na praia do futuro, onde se alargam por até 500 metros além da linha de praia e berma, prolongando ao interior, em nítido processo de acumulação eólica, com áreas de sedimentação, corredores eólicos e áreas de soterramento do campo de dunas fixas, observadas na área.

As planícies fluvio-marinhas, cujos maiores destaques são o Rio Ceará, o Rio Cocó e o Rio Pacoti, principalmente referente a sua foz.

A faixa intermediária posterior, que compreende mais de 80% dos terrenos, está relacionada aos tabuleiros costeiros, onde se observa uma monotonia planar, aplainadas pelos agentes intempéricos físico-químicos, de sedimentos areno-argilosos pertencentes à Formação Bameiras. Esses tabuleiros estão recortados por pequenas redes de drenagens, oriundas de diversas lagoas, ou mesmos de efluentes dos rios acima citados e de nascentes localizadas neles, como é o caso do riacho Pajeú.

Nesta unidade a urbanização é constante como processo modular do relevo, atuando desde a impermeabilização dos solos, impedindo o fluxo hídrico superficial e subterrâneo e a ruptura dos padrões naturais de modelamento geomorfológico.

A última unidade esta relacionada ao relevo das serras ao sul da região, ou seja, os planaltos residuais de Maranguape e de Pacatuba, onde no planalto de Maranguape, consta à presença de um conjunto de serras, com cotas de até 800 metros, destacando-se "inselbergs", proporcionando um contato gradual com a unidade dos tabuleiros. A serra de Pacatuba, forma um corpo individual, orientado à nordeste sudoeste, gerando um contato abrupto com a unidade de tabuleiros.



OCEANO

FRANCISCO SA
ARMARINHEIRO
PILGRESTA
TIROL JOÃO FE
CARGOIN
SÃO BEN
BENFICA
PADRE CICI
PARANABUS
CAUTO FERNAND

PARQUE GOTEGRÃO
NOVA METRÓPOLE
SAC MIQUEL
PARQUE ALBANO
DOMPCEARA

ARATURI
JUREMA
MANGEL SATIRO
VILA PIERY
MONTESÉ
MUNDUBIM

LONG ESPERANÇA
ARACAPÉ
AVE ALEBRI
PARTO EXTERNO
DE SARGAS

PARUJARA
NOVO MARACANAÚ
MARANQUAPE
MARACANAÚ
JEREISSATI

PARQUE GOTEGRÃO
NOVA METRÓPOLE
SAC MIQUEL
PARQUE ALBANO
DOMPCEARA

ARATURI
JUREMA
MANGEL SATIRO
VILA PIERY
MONTESÉ
MUNDUBIM

LONG ESPERANÇA
ARACAPÉ
AVE ALEBRI
PARTO EXTERNO
DE SARGAS

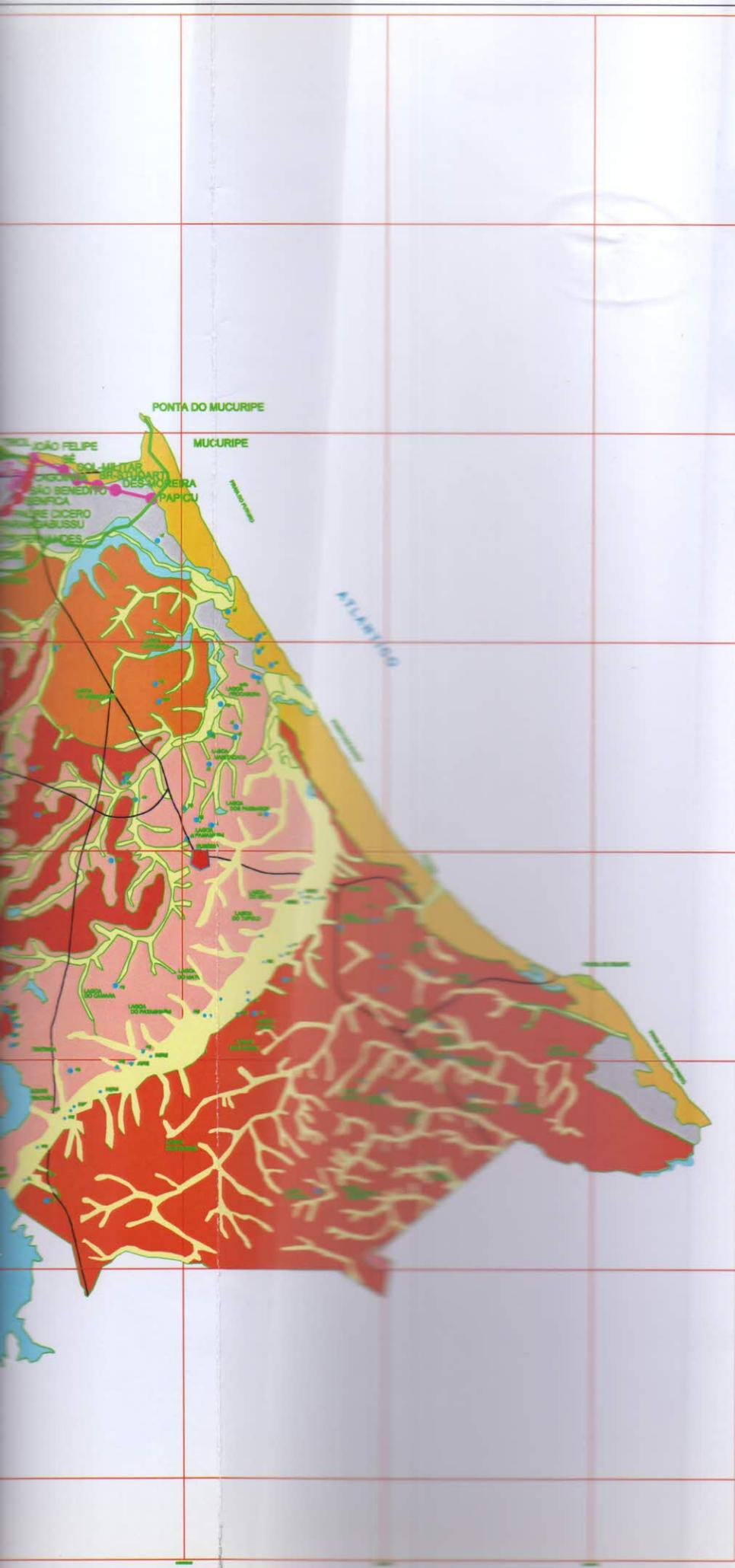
PARUJARA
NOVO MARACANAÚ
MARANQUAPE
MARACANAÚ
JEREISSATI

FRANCISCO SA
ARMARINHEIRO
PILGRESTA
TIROL JOÃO FE
CARGOIN
SÃO BEN
BENFICA
PADRE CICI
PARANABUS
CAUTO FERNAND

FRANCISCO SA
ARMARINHEIRO
PILGRESTA
TIROL JOÃO FE
CARGOIN
SÃO BEN
BENFICA
PADRE CICI
PARANABUS
CAUTO FERNAND

FRANCISCO SA
ARMARINHEIRO
PILGRESTA
TIROL JOÃO FE
CARGOIN
SÃO BEN
BENFICA
PADRE CICI
PARANABUS
CAUTO FERNAND

FRANCISCO SA
ARMARINHEIRO
PILGRESTA
TIROL JOÃO FE
CARGOIN
SÃO BEN
BENFICA
PADRE CICI
PARANABUS
CAUTO FERNAND



COLUNA GEOLÓGICA

		UNIDADE GEOLÓGICA	LITOLOGIA
CECOCÊNICO	QUATERNÁRIO	DEPÓSITOS ALUVIAIS ASSIMÉTRICOS E SIMÉTRICOS	DEPÓSITOS ALUVIAIS E ALENÇÓ-ASSIMÉTRICOS, VELTOS E AREIAS, COM OU SEM MANTOS DE AREIA; AREIAS DEPOSITOS PLANOS LACUSTRES E DE MARÉAS
		DEPÓSITOS DE RECALQUE	AREIAS FINAS E MÉDIAS, ESPALHADAS, SEM SELECIONAMENTO, QUANTAS CONDIÇÕES DE MARÉAS FUNDAS
		FLUVIOVALES	ARENITOS DE ORIENTAÇÃO PARA A MÉDIA, COLORAÇÃO AMARELO-ESMERALDA, COMPOSIÇÃO QUATERNÁRIA
PROTEROCÊNICO	TERCIÁRIO	FORMAÇÃO SERRANA	ARENITOS DE ORIENTAÇÃO PARA A MÉDIA, COM MATRIZ AREILHA, SEMICONSOLIDADA, COM MASSES CONSOLIDADAS E CONDIÇÕES LATÉREAS
		COBERTURA COLÚMBO-SERRANA	DEPÓSITOS AREILO-AREILOS, INCONSOLIDADOS, COLORAÇÃO AMARELO-AMARELADA COM CONDIÇÕES FERRUGINEAS ESPARSAS
		VALCÃO DE ALABES	POULITOS, TRAGITOS E TIPOS
PROTEROCÊNICO	SUPERIOR		PIR. LUCOSOMATOS REOS EM MASCOTE, DE TEXTURA GROSSA A FINEZINHA
		GRANITOS	PIR. GRANITOSÍDIO CADA-CADAL, POLUIDOS, COMPRESSÃO INCLUSA INADEQUADA CONSTITUINDO CORPOS BASTOCENOS
			PRODOTOS DE COLORAÇÃO CASTANHO-ESCURO, MASCOTE, ENVOLGIMENTO MASCOTIFORME
PROTEROCÊNICO	INFERIOR	ULTRABÁSITOS	PRODOTOS DE COLORAÇÃO CASTANHO-ESCURO, MASCOTE, ENVOLGIMENTO MASCOTIFORME
		COMPLEXO GRANITO-AMARILHADO	ROCHA-GRANITO, TOTAL OU PARCIALMENTE GRANITIZADOS COM MASCOTE, AMARILHADO, ELONGADO E BARRADO, INTERCALAÇÃO DE CORPOS DE GRANITO (PIR) E LANTAS DE GRANITO (PIR)
		COMPLEXO GRANITO-VERMELHO	GRANITOS GRANITÓCIDOS, GRANITÓCIDOS E GRANITÓCIDOS COM MASCOTE, ROCHA E MASCOTE

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- CONTO GEOLÓGICO
- CONTO APENAS
- CONTO TRANSICIONAL
- CONTO LITOLÓGICO
- FAIXA DESEPIA
- FAIXA AFRODISMADA
- FAIXA INDODISMADA
- SINA DE GRANULADO
- SINA
- IMPRIME COM CAMBIO
- IMPRIME INCLINADO COM CAMBIO
- POLAÇÃO COM MASCOTE INCLINADO
- POLAÇÃO COM MASCOTE MEDIO

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- ÁREA LIMBA
- RODOVIA
- FERROVIA
- FERROVIA
- FERROVIA
- PORTO
- AEROPORTO
- LINHA MARÍTIMA
- RIO PERMANENTE
- RIO INTERMITENTE
- AQUEDUTO
- MAREMARE

RECURSOS MINERAIS

OCORRÊNCIA	
AM - AMALGAMA	PI - PÓLIFIDO
AS - AREIA	SA - SAZIDA
AF - AREIA FINA	SE - GRANITO
AR - AREIA GROSSA	SM - MANGUEIRA
CC - CALÁRIO	SB - SÁBIDO
DT - DESPÓSITO	TL - TALÃO

LÍNEAS	
—	CARGA EXISTENTE
—	CARGA A IMPLANTAR
—	SAL
—	OSITE
—	LISTE
—	RAMAL BARRACOLAPSE

ESTIÇÃO	
●	TRICHERIA
●	INEL
●	SUBSTRATINA

BASE CARTOGRÁFICA ELABORADA A PARTIR DO MAPA GEOLÓGICO DO PLANO DIRETOR DE MINERAÇÃO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, DA SÉRIE DIFUSÃO TECNOLÓGICA, Nº7, DNPM, BRASÍLIA, DF, ADO. 1986.
 REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA, DA DNPM PLANO DIRETOR DE MINERAÇÃO PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA MESTRADO EM GEOLOGIA

Título: MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA
 MAPA INTEGRANTE DA DISSERTAÇÃO TITULADA "ANÁLISE GEOAMBIENTAL ASSOCIADO À IMPLANTAÇÃO DO TREM METROPOLITANO DE FORTALEZA"

GUSTAVO AMORIM STUDART GURGEL		Escola:	1/550.000
ORIENTADOR	Dr. LUIS PARENTE MAA	Unidade/Dimensões	METROS
BANCA EXAMINADORA	Dr. RAMUNDO MARIANO DOMES CASTELO BRANCO	Desenho Nº:	01/01
	Dr. GEORGE SATANDER SÁ FREIRE		

4.0 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O clima na superfície da terra é condicionado por mecanismos, que regem a circulação geral da atmosfera e dos oceanos, responsáveis pelos regimes meteorológicos envolvendo vento, precipitação, temperatura, ondas, correntes, etc. Desta forma, este conjunto de fenômenos determina muito as características geológicas das planícies costeiras, uma vez que controlam em geral as taxas de erosão e deposição, além do transporte do sedimento.

Segundo classificação de Koppen, *in* Silva, 1998, o litoral do Município de Fortaleza insere-se na zona tropical tipo AW' caracterizada por um período quente durante o ano inteiro com precipitações médias anuais irregulares. Os totais pluviométricos nesta região decrescem em direção ao interior, atingem o mínimo no sertão semi-árido e voltam a crescer em direção ao Norte.

Os ventos neste município são caracterizados pela presença de um forte ciclo sazonal controlados pelo movimento da zona de convergência intertropical (ZCIT), que se desloca do norte para o sul conforme mudanças de estação (FUNCEME, 1996 *in* Castro 2001).

A ZCIT corresponde a uma larga faixa de confluência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, caracterizada por intensa nebulosidade e baixa pressão atmosférica. Em geral a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, no atlântico, para posições mais ao sul durante o verão austral. Os ventos alísios de sudeste são mais intensos quando a ZCIT encontra-se ao norte (agosto a outubro), diminuindo progressivamente sua migração ao equador, para alcançar valores mínimos anuais durante os meses de março e abril quando os ventos de sudeste são mais fracos, *in* Castro, 2001.

A movimentação para norte da ZCIT e a intensificação dos ventos de sudeste que se inicia em março, apresenta-se forte no oceano, com as variações no padrão de circulações oceânicas, variações do nível do mar e aumento da velocidade das correntes costeiras (Alves & Rapelli, 1997; *in* Castro 2001). Além deste ciclo sazonal, o clima da região apresenta uma série de modificações interanuais geralmente associadas ao fenômeno El Niño.

4.2 EFEITO EL NIÑO/LA NIÑA E O REGIME PLUVIOMÉTRICO

A atmosfera terrestre, um fluido gasoso que pode sofrer tanto efeitos de compressão como de expansão, é regida por uma circulação geral, que implica basicamente em ar ascendente nas regiões mais quentes e ar descendente nas regiões menos aquecidas. Esta circulação, sem levar em conta os efeitos de rotação da terra, é o princípio fundamental para definir as condições climáticas predominantes, particularmente no que diz respeito à precipitação, para as várias regiões do globo (Alves & Rapelli, 1992; *in* Castro 2001).

Um fenômeno que interfere nas características climáticas desta circulação de grande escala da atmosfera terrestre é o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Conceitualmente, o fenômeno El Niño é o aquecimento das águas superficiais do setor centro-oeste do Oceano Pacífico predominantemente na região equatorial. As principais anomalias climáticas observadas no Brasil na presença do El Niño são:

- Áreas com chuvas superiores a média na região sul e sudeste do Brasil (especialmente durante o período de verão e outono, de dezembro a março), por exemplo, os anos de 1996 e 1997, estas características se deveram a uma permanência maior das frentes frias, que migraram do extremo sul do continente para latitudes tropicais.
- Secas ou estiagens durante o quadrimestre de fevereiro a maio no setor norte do nordeste (Estado do Ceará, centro-oeste dos Estados do Piauí, Rio Grande

do Norte, Paraíba, Pernambuco, norte da Bahia e extremo nordeste de Alagoas e Sergipe).

O setor norte do Nordeste do Brasil, particularmente o semi-árido, constitui-se numa região extremamente anômala quanto à distribuição de chuvas, em relação a outras regiões localizadas nas mesmas latitudes (como é o caso da Amazônia). Para essa região, alguns trabalhos têm mostrado que o El Niño provoca uma redução das chuvas (Alves & Rapelli, 1992).

A sub-região mais afetada aparentemente pelo fenômeno El Niño, conforme Alves e Rapelli (*Op. cit.*), é a sub-região 1, na qual faz parte o município de Fortaleza (Figura 5).

O fenômeno inverso é chamado de La Niña, que se caracteriza pelo esfriamento das águas na faixa equatorial do Oceano Pacífico. Ressalta-se que a magnitude das anomalias negativas de temperatura na superfície do mar durante este fenômeno é maior do que as anomalias positivas observadas nos episódios El Niño (*in* Castro, 2001).

Nos anos de La Niña, persiste um forte movimento ascendente (formação de nuvens e presença de chuva) no setor centro-oeste da Bacia do Pacífico, principalmente na região da Indonésia, setor norte e nordeste da Austrália, e um fortalecimento do movimento de descida na parte centro-oeste da bacia, particularmente na costa oeste da América do Sul. Este trecho impede a formação de nuvens e conseqüentemente pouca chuva na região Nordeste (Alves & Rapelli, 1992).

No Nordeste brasileiro, em anos de La Niña, as áreas mais localizadas ao sul desta região, tendem a receber um índice mais significativo de chuvas, entre os meses de novembro a janeiro (pré-estação chuvosa). Em alguns destes anos, no período de maior pluviometria do setor norte do nordeste apresenta chuvas superiores a média. A tabela 1 demonstra a relação dos anos correspondentes aos episódios El Niño e La Niña no Estado do Ceará, entre 1912 e 1989 (Silva et al., 1998).

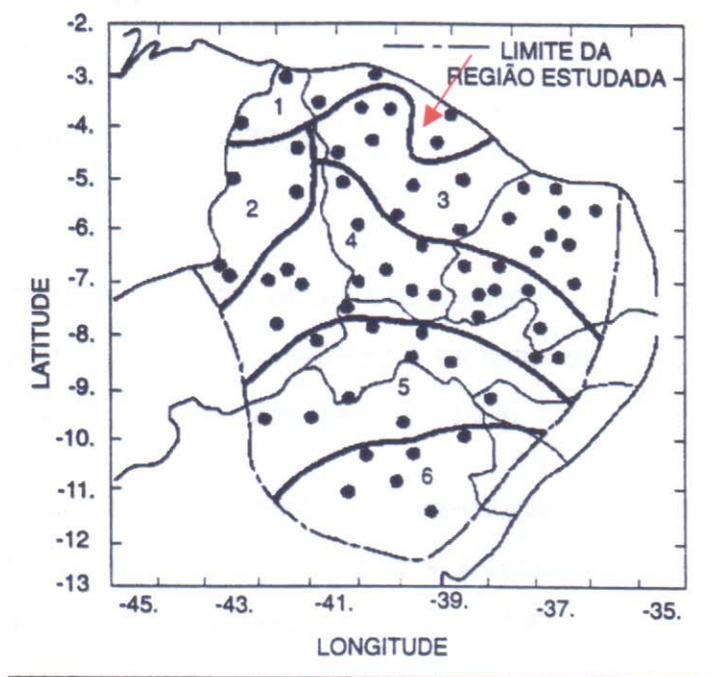


Figura 5 - Região estudada por Alves e Rapelli, 1992. Os pontos representam as estações utilizadas. As linhas cheias indicam os limites entre as sub-regiões.

Como os regimes meteorológicos em geral determinam o nível do lençol freático, é possível que em anos do episódio El Niño, caracterizados por secas na sub-região 1 do Nordeste, tenha-se um rebaixamento significativo deste nível freático em regiões de terrenos arenosos. (Castro, 2001).

Anos de El Niño	1913, 1918, 1925, 1930, 1940, 1951, 1953, 1957, 1958, 1963, 1965, 1970, 1972, 1986, 1987
Anos de La Niña	1916, 1924, 1928, 1933, 1942, 1944, 1949, 1954, 1955, 1956, 1964, 1967, 1969, 1975, 1988

Quadro 1 - Relação dos anos de ocorrência dos episódios El Niño e La Niña. Fonte: Silva *et al.* 1998; *in*: Castro 2001.

Em anos de La Niña, constituído por período chuvoso ou muito chuvoso no Estado do Ceará, verifica-se nas regiões costeiras como é o caso de Fortaleza um aumento significativo do nível freático, deixando-o quase aflorante. (Castro, 2001).

4.3 CLIMA LOCAL

4.3.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Do ponto de vista climático, a região costeira de Fortaleza - Ceará é considerada semi-árida por apresentar substanciais variações temporais e espaciais de precipitação pluviométrica e elevada temperatura ao longo do ano (Azevedo *et al.*, 1998).

Climatologicamente, esta região apresenta uma pré-estação, de novembro a janeiro, uma estação chuvosa propriamente dita, a qual manifesta-se durante os meses de fevereiro a maio e a estação seca entre junho a início de novembro (Alves, 1992).

O regime de precipitação durante os períodos de pré-estação e estação chuvosa é registrado pela atuação e/ou influência de diversos sistemas meteorológicos que variam desde pequeno até escalas sinópticas, tais como: as linhas de instabilidade que se formam na faixa litorânea; as incursões pronunciadas de sistemas frontais advindos das altas latitudes austrais; os vórtices ciclônicos que se formam nos altos níveis topográficos; e a manifestação da Zona de Convergência Intertropical (ZICT) principal sistema indutor de chuvas, durante a estação chuvosa (Castro, 2001).

A estação seca (estiagem) nesta região se manifesta entre os meses de junho a novembro, caracteriza-se por apresentar intensa mobilidade de sedimento decorrente da ação do vento.

Objetivando estudar o comportamento climatológico das precipitações pluviométricas ocorridas em Fortaleza, utilizaram-se informações da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, série 22 anos, entre 1977 e 1999.

A média pluviométrica para o período analisado foi de 1.200 mm anuais. Constatou-se substanciais variações, como, por exemplo, no ano de 1993, onde choveu apenas 353 mm, ao passo que no ano de 1995 as precipitações foram na ordem de 2.352 mm/ano.(Castro, 2001).

Segundo Xavier (1998, *in* Castro 2001), a determinação das normas climáticas é classificada através da técnica dos quantis, que pode ser definida para o Estado do Ceará nos seguintes intervalos de chuva: Muito Seco (0 - 555 mm/ano); Seco (556 - 799 mm/ano); Normal (800 - 1095 mm/ano); Chuvoso (1096 - 1721 mm/ano) e Muito Chuvosos (> 1722 mm/ano).

Analisando as médias pluviométricas de Fortaleza, observa-se a ocorrência de dois períodos muito secos (1983 e 1993), três períodos secos (1978, 1979 e 1990), seis períodos normais (1980, 1981, 1991, 1992, 1997 e 1998), seis períodos chuvosos (1982, 1984, 1987, 1988, 1996 e 1999), e cinco períodos muito chuvosos (1985, 1986, 1989, 1994 e 1995).

A variação dos dias de chuva registrados através da FUNCEME apresenta as seguintes médias anuais para o período de 22 anos:

- Período muito seco: 29 dias de chuva/ano;
- Período seco: 55,6 dias de chuva/ano;
- Período normal: 64,2 dias de chuva/ano;
- Período chuvoso: 67,2 dias de chuva/ano;
- Período muito chuvoso: 78,6 dias de chuva/ano.

A significativa variabilidade de dias de chuva ao longo dos 22 anos (1977 a 1999) tem interferência direta no nível do lençol freático. Dessa forma o período muito chuvoso é caracterizado por apresentar um nível freático elevado, enquanto no período muito seco este nível é rebaixado, visto que são aproximadamente 336 dias de insolação. Entre o período seco e chuvoso, observa-se uma pequena diferença entre os dias de chuva/ano. Nestas condições, considera-se que o nível freático se encontra em estado normal.

Portanto, o efeito da precipitação pluviométrica sobre o lençol freático é bastante significativo. Por ocasião de um período muito seco considera-se o nível freático rebaixado; entre o período seco e chuvoso, o nível é normal; e por ocasião de um período considerado muito chuvoso, este nível é alto. Desta forma o nível d'água em subsuperfície não apresenta comportamento uniforme, varia conforme o regime pluviométrico (Castro, 2001).

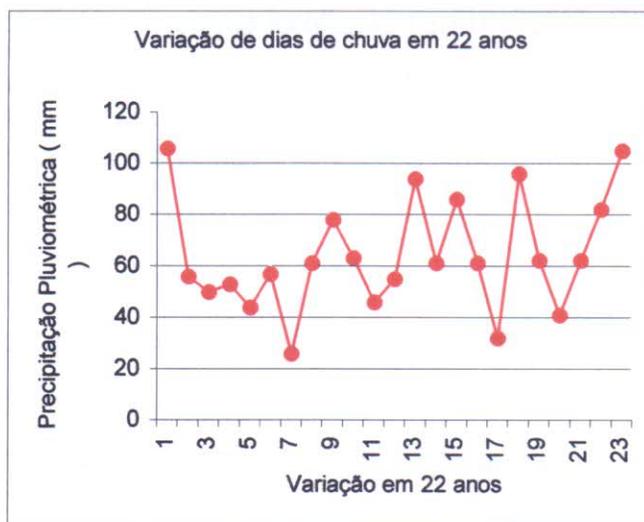


Figura 6 - Variações dos dias de chuva num intervalo de 22 anos na cidade de Fortaleza – Ceará.

4.3.2 REGIME DE VENTOS

Como foi visto anteriormente, a origem dos ventos na região é caracterizada pela presença de um forte ciclo sazonal, controlado pelo movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZICT) que se desloca de norte para sul, conforme as estações do ano.

Buscando aprofundar o conhecimento deste regime de vento, analisaram-se dados registrados na estação meteorológica situada no Porto de Mucuripe e na FUNCEME. Ambas as estações operam segundo as normas meteorológicas internacionais. De acordo com estas normas, as leituras de velocidade dos ventos são realizadas a uma altura padronizada de 10 metros.

A partir dos registros disponíveis, optou-se por trabalhar com duas séries de dados:

- Dados diários com medições de hora em hora, referentes à estação do Porto de Mucuripe (leste de Fortaleza), série 1997;

- Dados mensais referentes à estação localizada na FUNCEME. Estas informações foram utilizadas apenas como estudo comparativo, devido à interferência urbana de Fortaleza.

Foram analisados os dados de velocidade e direção de proveniência dos ventos superficiais.

A tabela 2 resume os dados da freqüência percentual (direção e velocidade) dos ventos superficiais registrados na estação do Porto de Mucuripe durante o período de um ano de observação. Os valores foram agrupados em classes distintas.

Estação	Direção	Intervalo de velocidade (m/s)				%	V. média (m / s)	Total de Obs.
		1 a 5	>5 a 7	>7 a 9	> 9			
Praia da Mucuripe	N	-	1,3	-	-	1,3	7,0	8760
	NE	6,65	2,19	-	-	8,84	4,2	
	E	12,05	46,0	17,26	2,46	76,76	6,8	
	SE	3,36	4,09	4,36	1,36	13,10	6,7	

TABELA 2. Freqüência percentual dos ventos (direção e velocidade) registrada na estação meteorológica do porto de Mucuripe, entre 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1998. Fonte: COELCE (1999).

A análise dos dados mostra claramente que os ventos mais freqüentes (76,76%) na região de Fortaleza provêm do quadrante leste (E). Os ventos de sudeste (SE) ocupam a segunda

posição com 13,10%; em seguida os ventos de nordeste (NE), atingem percentuais de 8,84%, e praticamente desprezíveis em termos de frequência, os ventos de norte (N) apresentam percentuais de apenas 1,3%.

Embora os ventos de leste (E) sejam os mais frequentes em todos os meses do ano, existem, no entanto, importantes variações sazonais. Estas variações ficaram bastante evidentes por ocasião do mês de outubro, quando os ventos de sudeste atingem os maiores picos de velocidade, entre 7,7 a 9,4 m/s. Quando se analisam as frequências por faixa de velocidade, observa-se que a dominância dos ventos de leste (E) apresenta-se mais forte entre os meses de julho a outubro (estações secas). Os ventos com velocidades superiores a 5 m/s representam 77,94% do total de medições. Destes, os provenientes de leste correspondem a 65,72% e os de sudeste 9,81%, restando apenas 2,19% para nordeste e 1,3% de direção norte.

Apesar dos dados diários representarem apenas um ano de medição, pode-se observar que, em Fortaleza, os ventos efetivos na construção pretérita da planície litorânea são provenientes predominantemente do quadrante leste (E) e secundariamente do quadrante sudeste (SE).

Comparando a sazonalidade dos ventos efetivos no transporte de areia com as precipitações pluviométricas registradas no ano de 1997 em Fortaleza, observa-se que durante a estação chuvosa (fevereiro a maio) as velocidades dos ventos em geral são menores, comparadas à estação seca (junho a janeiro). Assim, pode-se considerar que a evolução da planície litorânea e dos depósitos correlatos ocorreu durante a estação seca, quando os ventos com velocidades superiores a 5 m/s encontram uma maior disponibilidade de areia seca para transportá-lo.

5.0 RECURSOS HÍDRICOS

5.1 RECURSOS SUPERFICIAIS

A disposição dos recursos hídricos vem sendo alterada significativamente, em proporção direta ao crescimento da cidade. Observam-se diversas lagoas completamente ou parcialmente soterradas, bem como são comuns as canalizações de riachos, aterramentos desses recursos, o que altera o padrão de circulação e acumulação das águas.

Para a abordagem do trabalho, as Bacias Hidrográficas do Rio Maranguapinho e do Rio Cocó foram analisados, pois a linha metroviária encontram-se disposta nestas regiões. A figura 07 apresenta um mapa da Região Metropolitana de Fortaleza e as Bacias Hidrográficas envolvidas e em destaque a linha metroviária.

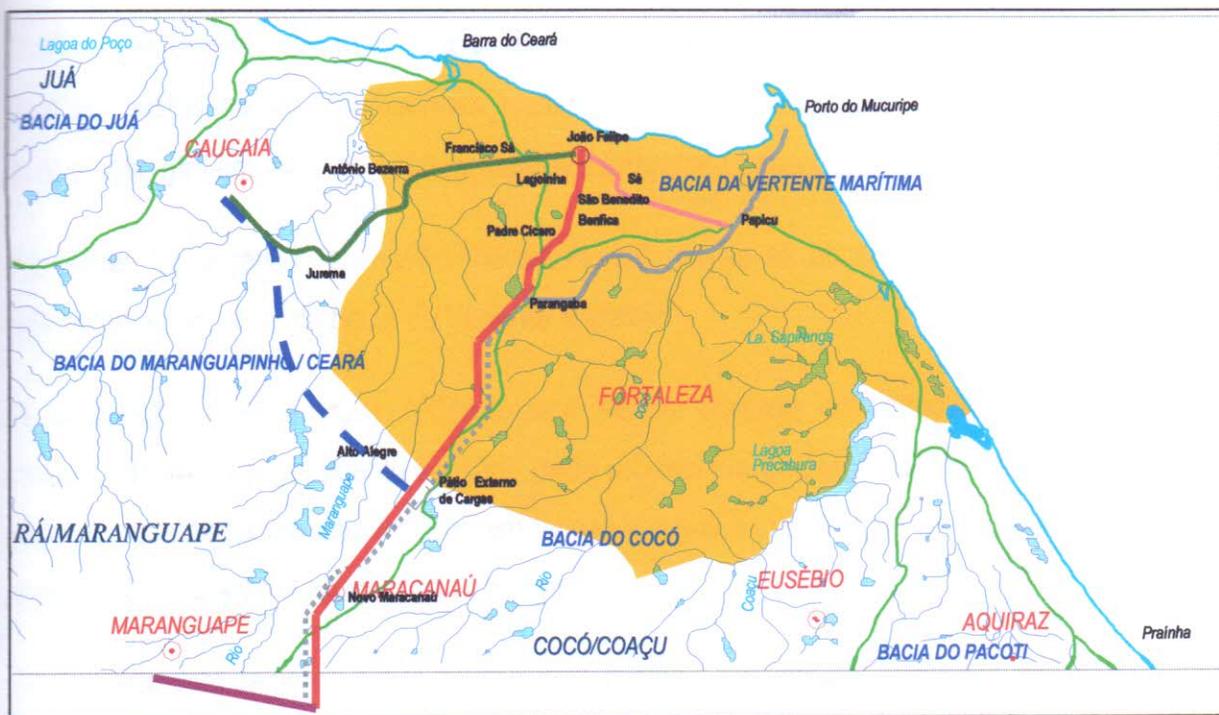


Figura 07: Bacias Hidrográficas na Região Metropolitana de Fortaleza.

5.1.1 ESTUDO HIDROGRÁFICO DA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA

A Região Metropolitana de Fortaleza é caracterizada por uma alta taxa de crescimento populacional, uma das maiores do país, e por um acelerado desenvolvimento econômico, vem apresentando alguns problemas relacionados com a ocupação urbana, em especial os que se referem à questão da disponibilidade hídrica. Na região a demanda de água supera a oferta, e o abastecimento se agrava durante os períodos de seca.

A área metropolitana de Fortaleza está localizada na Região Nordeste do Estado do Ceará ocupando uma área de 15.085 Km². A região compreende 16 bacias hidrográficas, entre as quais a bacia hidrográfica do rio Pacoti, que é a responsável pela maior parcela de abastecimento de águas da Região Metropolitana de Fortaleza, que tem como principal alternativa de reforço à bacia hidrográfica do rio Choro. Entre grande quantidade dos açudes existentes nesta região, pode ser destacados o sistema Pacoti-Riachão-Gavião, com 511 hm³.

O clima das bacias possui um período de chuvas bem definidas, entre fevereiro e maio, cujos valores, nestes meses, representam mais de 75% da precipitação anual. O potencial de evaporação gira em torno de 1700 mm/ano e a temperatura média anual é de 26°C.

As bacias hidrográficas envolvidas no estudo referem-se as bacias do rio Cocó e a do rio Maranguapinho, além da bacia da Vertente Marítima.

A disposição dos recursos hídricos vem sendo alterada em direção à construção e melhoramento do esgotamento sanitário (rede urbana) em proporção direta ao crescimento da cidade, onde se fazem intervenções em lagoas e lagos e canalização de riachos, alterando o padrão de circulação e acumulação das águas.

O conhecimento regional sobre os recursos hídricos nas bacias estudadas indica que nas áreas das bacias o potencial hídrico de superfície é controlado por um padrão intermitente de

todos os rios, onde a troca com os aquíferos subterrâneos garantia o escoamento dessas drenagens mesmo nos períodos de estiagem.

A bacia hidrográfica do rio Cocó extrapola os limites do município de Fortaleza, alcançando também os municípios de Aquiraz, Pacatuba e Maranguape. A bacia do rio Maranguapinho atinge, além de Fortaleza, os municípios de Maracanaú e Caucaia, sendo que o rio Maranguapinho encontra-se com o rio Ceará, do qual é afluente, já nos limites dos municípios de Fortaleza e Caucaia. A bacia da Vertente Marítima está toda localizada no município de Fortaleza. Como se observa, esta etapa de construção do trem metropolitano de Fortaleza, atinge principalmente a bacia do rio Maranguapinho, o trecho Linha de Carga e as bacias hidrográficas da Vertente Marítima e do rio Cocó no trecho linha Norte – Sul.

O subprograma de drenagem urbana do Projeto SANEAR compreende um conjunto de intervenções em redes de micro e macrodrenagem, distribuídas nas três bacias do município de Fortaleza, a Vertente Marítima, o rio Cocó e o rio Maranguapinho.

A concepção técnica dos projetos executados de drenagem tem como pressuposto o Plano Diretor de Drenagem da Região Metropolitana de Fortaleza – PDD/RMF, onde foram revistos parâmetros mais adequados à situação atual das áreas e ampliando a visão do conjunto de recursos hídricos, considerando, desta forma, não apenas sua função de drenagem, mas, sobretudo o sistema ecológico que eles encerram.

Com base em análises elaboradas no Plano Diretor, e considerando a repercussão no desenvolvimento das funções do espaço urbano dos problemas gerados pelo não funcionamento do sistema de drenagem, e conseqüentemente na vida da população, foram desenvolvidos subprogramas de drenagem.

Os problemas gerados pelas constantes inundações em várias áreas ribeirinhas dentro das bacias hidrográficas citadas, atrelado ao quadro de expansão urbana acelerada e desorganizada, além da precariedade dos serviços de coleta e afastamento dos resíduos

sólidos, transformam o equacionamento dos problemas de drenagem urbana em um benefício inestimável em termos de saneamento.

A limpeza urbana falha nestas áreas. Aliada a falta de drenagem, principalmente em regiões alagáveis, provoca problemas de saúde pública grave, como o de leptospirose, febre tifóide, hepatite e cólera. O programa de drenagem superficial e subterrânea do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, aliado aos programas do Projeto SANEAR, atenderão aos pontos críticos das subdrenagens das bacias hidrográficas da Vertente Marítima, rio Maranguapinho e rio Cocó, e implantação de canais de drenagem pluvial, o que certamente evitará transtornos e danos à população de Fortaleza.

Algumas áreas críticas de drenagem, como as margens do rio Cocó e do rio Maranguapinho sofrerão grandes intervenções, a fim de ser colocado a faixa de preservação de 1º categoria, sendo delimitada em função da cota de inundação.

5.1.2 OS PROJETOS EXECUTIVOS DE DRENAGEM

Os projetos executivos elaborados para a RMF, e seguidos no projeto do Trem Metropolitano de Fortaleza, apresentam soluções de macrodrenagem e microdrenagem para cada bacia tratada, partindo da análise das alternativas possíveis para resolução dos problemas inerentes a cada área, tendo em vista critérios de mínimo custo e compatibilização com o aspecto de preservação ambiental.

Apresentam ainda, soluções de microdrenagem para os pontos críticos em termos de escoamento superficial de cada área estudada. As propostas de microdrenagem, de acordo com a necessidade de cada área, apresentam soluções de escoamento superficial pelas sarjetas, galerias tubulares e celulares.

A seguir, apresenta-se um resumo de cada projeto, no que tange a solução de macrodrenagem adotada referente às áreas de influência direta e indireta do projeto do Trem Metropolitano de Fortaleza.

5.1.2.1 TAUÁPE (SUB-BACIA B-1)

A sub-bacia B-1 - Riacho Tauape - pertence à bacia B, bacia do Rio Cocó, localizando-se na sua margem esquerda. Apresenta um sistema de macrodrenagem bem definido, formado pelas lagoas de Porangabussu e Opaia, os canais do Tauape, Jardim América e Aguanambi, e ainda o sangradouro da Lagoa do Opaia, chamado Riacho 1 e seu afluentes o Riacho 2.

Dentre as bacias urbanas de Fortaleza, é a B-1 a que representa um dos maiores índices de urbanização, abrangendo os bairros de Damas, Joaquim Távora, Vila União, Fátima, Benfica, Jardim América, Montese, Rodolfo Teófilo, São João do Tauape, Alto da Balança, Amadeu Furtado e Parque Araxá.

A proposta considerou para o dimensionamento do Canal do Tauape, o amortecimento nas lagoas de Porangabussu e Opaia, cuja capacidade de armazenamento, reduz a vazão em diversos pontos do canal, chegando a amortecer até $31\text{m}^3/\text{s}$ no seu total.

Para o canal do Jardim América optou-se por redimensionar todo o seu percurso, considerando o amortecimento na Lagoa das Damas como fator de segurança, alterando sua seção, seja na largura ou profundidade, para aumentar sua capacidade de vazão.

Para os Riachos 1 e 2 a alternativa proposta mantém seus leitos ao natural, sem qualquer alteração.

O canal do Tauape foi dividido em trechos conforme descrição que segue:

Trecho 1 - do início até o encontro com o canal do Jardim América. A capacidade de vazão do canal suporta a vazão afluyente;

Trecho 2 - do encontro dos canais do Jardim América e Tauape até a Av. dos Expedicionários.

Optou-se por considerar as áreas livres do canal do Jardim América, da Lagoa das Damas e da microbacia B-1.2, como áreas de amortecimento natural, atuando estas como fator de segurança;

Como o canal neste trecho não suporta a vazão afluyente e não há possibilidade de alargamento, para não se perder o passeio e/ou a avenida, adotou-se a seção retangular, executada em concreto, com duas seções 6,30m x 2,00m e 7,00m x 2,00m;

Trecho 3 - da AV. dos Expedicionários até a Avenida Luciano Carneiro.

A seção do canal será alargada, adotando-se a forma trapezoidal, com base maior de 12,0m, base menor de 8,0m e altura de 2,0m;

Trecho 4 - da Av. Luciano Carneiro até o encontro do canal do Tauape com os riachos 1 e 2. Adotou-se para o trecho uma seção retangular, em concreto, com 8,0m x 2,00m;

Trecho 5 - do encontro do canal do Tauape com os riachos e 2 até o encontro com o canal da Aguanambi. Adotou-se para o trecho uma seção retangular, em concreto, de 10,40m x 2,00m;

Trecho 6 - do encontro do canal do Tauape com o canal da Aguanambi até o bueiro da RFFSA.

Este trecho recebeu dois tratamentos: Nos 220,00m iniciais adotou-se uma seção retangular, em concreto, com 18,00m x 2,00m. A partir do muro dos fundos da Aguanambi Diesel, optou-se por se manter o riacho ao natural, utilizando a área livre adjacente ao riacho como bacia de amortecimento natural, prevendo alagamentos periódicos, nos períodos de chuva;

Trecho 7 - do bueiro da RFFSA até o encontro com o rio cocó.

Adotou-se a solução de construir um canal com fundo em terra e paredes laterais em alvenaria de pedra com 2,00m de altura, funcionando como bacia de amortecimento nos períodos de cheia máxima e área livre /lazer nos períodos secos, quando o riacho corre pelo seu leito natural. A largura do canal utiliza toda a faixa de proteção de 1ª categoria, tendo 50,00m de largura da estaca 42 a 95 a da 96 a 116, 60,00m.

5.1.2.2 RIO COCÓ (SUB-BACIA B-2)

A sub-bacia do Rio Cocó, denominada B-2, corresponde àquelas áreas que drenam diretamente para o leito principal do Cocó, abrangendo partes dos bairros Jangurussu, Barroso, Cajazeiras, Mata Galinha, Jardim das Oliveiras, Aerolândia, Alto da Balança, Salinas, São João do Tauape, Cocó, Caça e Pesca e Barra do Cocó.

Os estudos feitos indicaram a necessidade de preservação das condições atuais do fundo da vala da maior reserva hídrica do município de Fortaleza. Embora ainda não se possa perceber muito claramente, já se observam problemas decorrentes do uso indevido do espaço físico ao longo do Rio, que podem agravar-se até atingir proporções imprevisíveis. Fazem-se recomendações quanto ao disciplinamento, uso e ocupação do solo, e ao manejo dos mangues, mostrando a importância de uma atitude de preservação e uso racional do meio ambiente. Realizaram-se também estudos para determinar a linha d'água para a cheia centenária, obtendo-se a cota máxima de espraiamento, na situação limite do encontro de maré de altura máxima com as águas do rio, numa chuva de intensidade máxima. Os resultados desses estudos delimitam as áreas inundáveis, definindo a cota de preservação que inclui os mangues como também a calha que o rio deve ter, por cota, para assegurar sua vazão.

O estudo foi realizado com sistema flexível, programado em computador, que permite adaptações na medida que ocorram alterações no curso atual do Rio Cocó, do tipo aterro, dragagem, etc.

Foi realizado um levantamento planialtimétrico do leito do rio e cadastramento de suas margens. As áreas inundáveis foram detalhadas em poligonais com as superfícies calculadas por microcomputadores, contando os vários tipos de usos do solo das mesmas.

Frente a grande dimensão da sub-bacia e de sua baixa densidade, elegeram-se duas áreas críticas de intervenção para a microdrenagem, quais sejam: o bairro do Alto da Balança e a área próxima ao Shopping Center Iguatemi. Vale ressaltar que foram examinados os projetos de drenagem dos conjuntos habitacionais localizados na sub-bacia, os quais solucionam a contento o escoamento das águas superficiais.

5.1.2.3 LAGOA DA PARANGABA (MICRO-BACIAS C-3.1 e C-3.2)

Foram desenvolvidas duas alternativas para a macrodrenagem do complexo Lagoa de Parangaba, sangradouro, canal e Açude Santo Anastácio, conhecido como açude da Agronomia da Universidade Federal do Ceará - UFC.

A primeira alternativa prevê o rebaixamento da cota da Lagoa de Parangaba de 0,275m do nível atual e a canalização, em concreto armado, de toda a extensão do sangradouro, refazendo todos os bueiros existentes.

A segunda alternativa considera o amortecimento na Lagoa de Parangaba e o rebaixamento da sua cota de sangria de 0,175m. Para o sangradouro, prevê um canal em terra com bacias de amortecimento ao longo, utilizando a faixa de proteção de 1ª Categoria. A bacia de amortecimento prevista é nivelada e escalonada com salto de 0,30m a cada 30,00m,

perfazendo um desnível de 2,00m no trecho médio do canal, com proteção na extremidade de jusante, em alvenaria de pedra, aproveitando todos os bueiros e pontes existentes.

A alternativa escolhida e portando detalhada, foi a segunda, por ser considerada a que mais atende aos objetivos do programa, no tocante à preservação ambiental e aos custos.

5.2.2.4 MARANGUAPINHO (MICRO-BACIAS C-3.4, C-3.5 e C-3.6)

Sub-bacias C-4, C-5, e C-8.

O projeto Maranguapinho é composto de 03 (três) subprojetos, quais sejam:

Projeto Maranguapinho – margem direita: sub-bacias C-4, C-5 e C-6, micro-bacias C-3.4, C-3.5 e C-3.6.

Projeto Maranguapinho - margem esquerda: micro-bacias: C-8.2.1, C-8.2.2, C-8.2.3, C-8.3.1 e C-8.3.2.

Estudo da capacidade de vazão do rio Maranguapinho.

Para a margem direita, foram estudadas seis (06) alternativas para os canais de macrodrenagem e feito um estudo comparativo de custos, tomando como modelo o eixo macrodrenante da sub-bacia C-5, por ser considerado representativo no âmbito do projeto – margem direita. As alternativas consideradas foram:

Canal em terra;

Canal com fundo em terra e parede em alvenaria de pedra;

Canal com fundo em terra e paredes em concreto;

Canal com fundo em terra e paredes com estruturas em gabião (tipo caixa);

Canal revestido com gabião (tipo colchão); e.

Canal em concreto armado.

Apresenta-se a seguir resumo da solução para cada sub-bacia e micro-bacia:

Micro-bacia C-3.4 – Canal em terra

Pequeno trecho em galeria fechada entre a Rua Porto Alegre e um imóvel após a Avenida Fernandes Távora – canalizando o riacho pelo leito das ruas Noel Rosa e Florianópolis.

Implantação de dreno poroso nas vias onde for necessário rebaixar o nível do lençol freático.

Micro-bacia – 3.5 – O eixo macrodrenante foi dividido em três trechos:

Sub-bacias C-6 – para a lagoa do Mondubim será aproveitado seu potencial de amortecimento de cheias, devendo o espelho d'água ficar em um nível com variação máxima de 0,87m.

O riacho sangradouro será canalizado em terra e, nos trechos que cortam o leito de ruas, será canalizado em galeria retangular fechada em virtude da pouca largura das vias.

Maranguapinho margem esquerda

- Macrodrenagem

Para o Rio Maranguapinho, foi determinada a capacidade de escoamento da sua calha atual e a sua linha d'água máxima para um tempo de retorno de 100 anos.

As medidas de vazões centenárias foram efetuadas nos últimos 15 quilômetros (15Km) da extremidade de jusante do Rio, em trinta (30) pontos separados por quinhentos metros (500m) de distancia e numerados de 1 a 30.

Determinada a linha d'água máxima do Rio, foram estudadas e apresentadas alternativas de tratamento para o mesmo, qual sejam:

Definição de uma calha contida, apresentando propostas de seções;

Definição do perímetro molhado ao longo do rio, considerando a manutenção da sua calha atual, e a preservação destas áreas.

Para os riachos afluentes do Rio Maranguapinho, margem esquerda, que correspondem as microbacias C-8.2.1; C-8.2, C-8.2.3; C-8.3.1 e C-8.3.2 foram desenvolvidos estudos comparativos entre seis tipos de seções para canalização, tendo em vista as análises de mínimo custo, eficiência do sistema e proteção dos recursos hídricos.

As alternativas consideradas foram:

Canal em terra;

Canal com fundo em concreto armado e paredes em alvenaria de pedra;

Canal com fundo em terra e paredes com estruturas em gabião tipo caixa;

Canal revestido com gabião do tipo colchão; e,

Canal em concreto armado.

A alternativa de canal em terra foi selecionada por apresentar-se como sendo a mais viável.

Nas situações em que os riachos correm no leito das vias já implantadas propõe-se a canalização em galeria de concreto.

Para a microbacia C-8.2.1, por se tratar de uma área onde se encontra um extenso manguezal, a proposta de canalização se resume ao trecho do riacho compreendido entre o bueiro do ramal ferroviário Fortaleza- Caucaia e a BR-222. Para o trecho a jusante da BR-222, recomenda-se que seja mantido o talvegue natural sem nenhuma intervenção, posto ser uma

área de preservação permanente, já que é revestida por vegetação de mangue (Código Florestal) e pelo fato do manguezal funcionar como bacia de amortecimento de cheias.

- Microdrenagem

As intervenções em microdrenagem projetadas para a sub-bacia C-8, foram pautadas nas discussões com a comunidade envolvida, tendo como elemento determinante à identificação em meio aos problemas de toda a área, dos trechos e vias prioritárias com o fim de minimizar as carências de drenagem e pavimentação da malha urbana, que conformam os bairros da Granja Portugal e Bom Jardim.

Estabelecidas às prioridades foram propostas soluções de microdrenagem e pavimentação, utilizando galerias circulares de concreto até onde atendessem a vazão, passando então a galeria retangular, e pedra tosca e asfalto revestindo as vias.

O programa de investimentos em Drenagem Urbana na R.M.F. contempla uma área de 10.243,45 há no Município de Fortaleza, beneficiando diretamente cerca de 1.312.867 habitantes, o que representa aproximadamente 70,57% da população total do município, de acordo com o Projeto SANEAR.

O benefício indireto ao restante da população é notório, posto que as áreas atendidas englobam os corredores de atividades e são pontos de deslocamento para um grande contingente de pessoas. Propicia também um melhor funcionamento das redes de abastecimento de água, energia e telefonia, como também do sistema viário, e contribui para uma melhor aplicabilidade dos recursos públicos, antes utilizados para a resolução emergencial de problemas relacionados à falta ou deficiência do sistema de drenagem.

A formulação do Sub-Programa de Drenagem Urbana de Fortaleza, quanto à seleção das áreas a serem abordadas, além de seguir as orientações do Plano Diretor de Drenagem da RMF, teve como elementos de análises, o Plano de Organização Espacial da RMF e o Plano

Diretor Físico do Município de Fortaleza, considerando-se, prioritariamente, o nível de comprometimento em drenagem para cada área.

A seleção das áreas que compõem o Sub-Programa integra-se ao plano de Organização Espacial apresentado acima, e consolida algumas das linhas de ação preconizadas, no tocante à melhoria do saneamento básico e à preservação dos recursos hídricos, garantindo a proteção dos dois eixos macrodrenantes constituídos pelos rios Cocó e Maranguapinho (Projetos Cocó, Maranguapinho, Lagoa de Parangaba, Tauape, etc.). Também, permitindo a concretização da maior ocupação das áreas ao longo de corredores de adensamento (projeto Maranguapinho, e Tauape, etc.), e do Polo de Adensamento de Nível I (Projeto Pajeú, Jacarecanga e Tauape) – na Zona Central de Fortaleza.

Em resumo, o Sub-Programa, para o município de Fortaleza, se integra ao espaço da cidade, com medidas corretivas para as áreas já adensadas, e, corretivas e preventivas para as áreas em processo de adensamento. Possibilitando desta forma a expansão das zonas preconizadas pelos planos existentes, tanto pela dotação da infra-estrutura, quanto pela liberação de áreas para ocupação (áreas recuperadas pela implementação dos projetos), respeitando a preservação dos recursos naturais.

5.1.3 PROJETO DE DRENAGEM UTILIZADO

Finalidade e Concepção

O Projeto de Drenagem teve como finalidade básica, o controle das águas que escoam sobre a superfície da plataforma da ferrovia ou que a ela possam atingir. Assim, foram projetados dispositivos de drenagem que coletam e conduzem as águas para locais apropriados de deságüe.

Na concepção do projeto foram considerados os seguintes aspectos:

- Drenagem superficial, cursos de água perenes ou intermitentes que cruzam a diretriz da ferrovia e ainda as águas de chuva na plataforma, que devem ser conduzidas para pontos favoráveis de deságüe;
- Proteção dos taludes de cortes e aterros, contra a erosão decorrente do escoamento superficial.

A coleta e condução das águas que escoam sobre a superfície dos taludes, caídas sobre a plataforma e outros locais, compõem o sistema de drenagem superficial elaborado.

Para atender os aspectos acima mencionados foram projetados os seguintes dispositivos:

Sarjetas de aterro, moldadas no local;

Saída de água;

Descida de água em concreto.

Os principais bueiros e galerias serão aproveitados, devendo ter seus comprimentos aumentados para se adaptarem ao projeto, ou seja, a compatibilização do projeto de drenagem com a drenagem existente e o aproveitamento dos bueiros e canaletas em ambos os lados da plataforma.

Devido o escoamento das águas pluviais depender da declividade dos terrenos, muitos conjuntos habitacionais apresentam graves problemas de acesso, durante e após o período de chuvas. Esse fato ocorre em conjuntos, como o Conjunto Planalto em Caucaia, conjuntos Novo Oriente e Acaracuzinho em Maracanaú, onde, em algumas ruas, a água empossada impede o acesso a varias residências.

Obras Complementares

Proteção de taludes e aterros, conforme já citado neste relatório, com a introdução de hidrossemeadura nos taludes de cortes e aterros.

Partindo deste estudo das Bacias e Sub-bacias envolvidas no trajeto do Trem Metropolitano de Fortaleza, fez-se toda a análise dos sistemas de drenagem superficial, tanto no sentido da macrodrenagem como no sentido de microdrenagem, como pode ser observado nos acompanhamentos físicos de execução da Ligação Norte-Sul da Linha de Carga e os acompanhamentos da Linha Tronco Sul, apresentados a seguir.



Foto 2 – Vista do Canal de drenagem e colchão drenante em Maracanaú – CE.

5.1.4 AÇUDE DE CAUCAIA E LAGOA DO TABAPUÁ

O açude público de Caucaia, de propriedade da Prefeitura Municipal de Caucaia, está localizado no perímetro urbano da cidade de mesmo nome e foi construído na década de 20, (1920), segundo informações de antigos moradores locais, que possuem um sítio que fica à montante do reservatório. Esse açude faz parte da Bacia do Rio Ceará, pertencente à Bacia Hidrográfica Metropolitana.

A área inundada da bacia hidráulica é de 34 ha, aproximadamente, a qual tem capacidade de acumular cerca de 850.000 m³ de água. Essa coleção d'água apresenta um regime perene, constatado "in loco" uma vez que o reservatório nunca secou, nem mesmo em época de crise climática, tendo em vista o mesmo ser alimentado por uma fonte permanente do aquífero. Sua profundidade média é de 2,5 metros e a profundidade máxima é de 10 metros. O sangradouro fica na ombreira direita e a barragem é de enrocamento, construída de terra batida (material sílico-argiloso pertencentes a uma das fácies da Formação barreiras), com cerca de 80 metros de comprimento, com sangria, todos os anos, durante a estação chuvosa. Sob o ponto de vista morfológico sua forma é ligeiramente elíptica, com o contorno periférico (SL) da ordem de 650m, aproximadamente e valor do IDM de 5,39.

Através da urbanização da cidade de Caucaia neste período de tempo, no contorno do açude foram sendo construídas várias casas de taipa e tijolos. Atualmente existem cerca de 15 unidades residenciais, onde moram famílias de baixa renda, que usam o açude para obtenção de água, bem como o utilizam como destino final de seus efluentes domésticos. Em sua margem esquerda a Prefeitura Municipal de Caucaia construiu uma lavanderia pública, com água encanada e paredes revestidas de azulejo, cujas águas servidas eram drenadas diretamente para o açude, através de um canal a céu aberto, localizado no setor nordeste.

O projeto do Trem Metropolitano de Fortaleza - linha de Carga, utiliza a antiga linha férrea que passa na margem esquerda deste reservatório, sendo necessário a sua reformulação, que foi executada com a ampliação da linha existente, sendo necessário à demolição por parte da Prefeitura de Caucaia da lavanderia e a ampliação dos sistemas de trilhos com a utilização de enrocamento na margem esquerda da coleção d'água, com cerca de 15 metros de largura a fim de permitir a construção deste trecho.

Pessoas residentes no local reclamaram da atitude da Prefeitura de demolir a lavanderia, tendo em vista ser o único recurso para sustento de suas famílias. O projeto do Trem Metropolitano de Fortaleza em conjunto com a Prefeitura municipal de Caucaia, irá construir outra lavanderia em outro local mais apropriado, com água encanada e sistema de esgoto, evitando as águas servidas serem locadas diretamente no açude de Caucaia.



Foto 3 – Vista do Açude Caucaia, próximo ao sangradouro, onde se observa a quantidade de vegetação aquática e resíduos sólidos que são colocados neste reservatório.

Sob o ponto de vista bioecológico, o referido açude apresenta moderado nível de eutrofização, tendo em vista a acidez de suas águas e a quantidade de nutrientes dissolvidos, de natureza orgânica e inorgânica, em decorrência dos efluentes domésticos lançados em sua bacia hidráulica, conforme pode ser visto na Tabela 3, com a análise físico-química executada pelo Departamento de Engenharia de Pesca, Laboratório de Limnologia da UFC, amostra nº 173/2000.

A vegetação aquática se mostra exuberante, com predominância de macrófitas flutuantes, principalmente orelha de onça (*Eichornia crassipes*) e mururé (*Pistia stratiotes*). Macrófitas submersas e emersas ocupam algumas áreas da bacia, mas não chegam a causar problemas de natureza estética.

**TABELA 3 - LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA
UFC/CCA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
LABORATÓRIO DE LIMNOLOGIA**

Para fins de cultivo de organismos aquáticos
(Resolução N.º 20, de 18.06.86, do CONAMA)

Amostra n.º 173/2000

Recebida em: 26/02/2000

Procedência: Açude Caucaia

Local de coleta: Superfície (próximo à barragem)

Nome da propriedade: Logradouro público

Proprietário: Prefeitura Municipal

Cidade: Caucaia

Município: Caucaia Estado: CE

Parâmetros Físicos e Químicos	Unid.de medida	Resultado	Valores Desejáveis
Temperatura	°C	28,0	20 a 30
PH		6,7	6,5 a 9,0
Visibilidade	ds/cm	-	< 50
Cor	Hazen	15	< 30
Condutividade elétrica	µS	990	< 500
Turbidez	UNT	-	< 40
O ₂ dissolvido	mg/l	-	> 6,0
DQO	mg/l	2,3	< 5,0
DBO ₅ dias	mg/l	-	< 3,0
Bicarbonatos em CaCO ₃	mg/l	120,0	< 80,0
Alcalinidade Total	mg/l	120,0	< 100,0
Alcalinidade parcial	mg/l	Nihil	
CO ₂ livre	mg/l	42,0	< 10,0
CO ₂ fixo	mg/l	52,8	< 35,0
Carbonatos em CaCO ₃	mg/l	Nihil	< 30,0
Dureza total em CaCO ₃	mg/l	36,0	< 100,0
Cloretos em Cl	mg/l	235,0	< 250,0
Fosfatos em PO ₄	mg/l	0,06	< 0,025
Amônia total	mg/l	0,055	< 0,020
Nitritos em NO ₂	mg/l	Nihil	< 1,0
Nitratos em NO ₃	mg/l	-	< 10,0
Ferro total	mg/l	0,20	< 0,30
Sílica em SiO ₂	mg/l	3,8	< 10,0
Acidez total em CaCO ₃	mg/l	47,7	< 12,0
Salinidade	‰	0,45	< 5,0
Sulfatos em SO ₄	mg/l	-	< 250,0
O RESULTADO DA ANÁLISE RESPONDE APENAS PELA AMOSTRA RECEBIDA			

CONCLUSÃO: Água ligeiramente ácida, bicarbonatada, de elevada condutibilidade elétrica, que pode ser usada na criação de organismos aquáticos em viveiros, desde que a acidez seja corrigida pela calagem.

Fortaleza, 30 de janeiro de 2001

Prof. José Jarbas Studart Gurgel

Neste reservatório foram observadas pessoas exercendo a pesca com anzol, onde de acordo com informações colhidas, os peixes mais capturados são exemplares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), traira (*Hoplias malabaricus*) e cará comum (*Cichlasoma bimaculatus*), todos de tamanho pequeno, com cerca de 100 a 120 gramas. O açude tem uma ictiofauna muito pobre, devido as suas precárias condições tróficas.

Para a recuperação deste reservatório superficial, faz-se necessário, uma urbanização adequada da área onde está situado, com equipamentos de água e esgoto, a fim de ser transformado em um agradável local de lazer, para a prática de natação, da pesca e de esportes náuticos.



Foto 4 – Vista da área do Açude Caucaia onde foi implantado o trecho da linha de carga do Trem Metropolitano de Fortaleza.

Outras áreas receberam estudos específicos, como o caso da área onde está instalada o Pátio de pré-moldados, localizado nas margens da Lagoa do Tabapuá, em Caucaia. Esta área era utilizada pela empresa Britap, como usina de concreto.

Foi verificado que a antiga detentora da área, deixava que os resíduos de concreto provenientes da lavagem dos caminhões e da própria usina eram recebidos pela drenagem superficial, sem nenhum tratamento e jogados às margens da referida lagoa.



Foto 5 – Vista da área da Lagoa do Tabapuá, onde foi instalada o Pátio de Pré-moldados. Em 1º Plano observa-se a área concretada às margens da lagoa, à direita as placas pre-moldadas das paredes diafragmas.

Neste trabalho procuramos desenvolver um tratamento na área, retirando cerca de 600 m³ de concreto da faixa de 1º categoria da lagoa e desenvolvendo um Projeto de Recuperação de Área Degradada, minimizando a degradação ambiental vista na área.

O início dos trabalhos foi determinar através de topografia a área agredida, ou seja, dentro da faixa de APP (área de preservação permanente) de 30m a partir da cota de cheia máxima de acordo com a Resolução CONAMA 303 de março de 2002.

Com a demarcação in loco, foi feita a retirada de todo o concreto que estava nas margens da Lagoa do Tabapuá, num total de 625 m³ de concreto.

Uma segunda etapa do projeto foi a colocação de solo arenoso e orgânico, num total de 730m³ a fim de nivelar o terreno e estabelecer as cotas iniciais através de comparação com os terrenos vizinhos.



Foto 6 – Vista da área da Lagoa do Tabapuá, onde foi realizada a recuperação ambiental. Em 1º Plano observa-se a área onde foi colocado sedimento orgânico, com plantação de gramíneas e as linhas com a plantação de 130 mudas de eucalipto, a fim de promover uma cortina verde na área.

A etapa seguinte se deu com a plantação de 130 mudas de eucalipto no limite da faixa de proteção, a fim de estabelecer uma cortina verde na área e em seguida a plantação de gramíneas e vegetação rasteira na área recuperada.

Outra etapa realizada a fim de evitar que as águas com resíduos de cimento e concreto possam novamente se dirigirem a lagoa, foi feito e implantado um projeto de captação dessas águas, com duas caixas de decantação, localizados antes do sistema de drenagem existente na área estudada.



Foto 7 – Vista dos tanques de decantação, evitando que águas com cimento ou concreto possam seguir para a drenagem superficial.

Conforme pode ser observado o Consórcio Construtor QGCC, responsável pela construção do Trem Metropolitano de Fortaleza, vem desenvolvendo recuperação de todas as áreas trabalhada.

5.1.5 MINERAÇÃO NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

As minerações localizadas nas bacias hidrográficas envolvidas são aqui relatadas, observando estudo do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, uma vez que toda a material mineral usado na construção do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, está licenciado pelas Prefeituras onde está localizada a jazida e pelos Órgãos Ambientais envolvidos neste processo de licenciamento. Aqui abordamos duas situações: a primeira referente aos tipos de mineração que estão com extração regularizada, abandonada ou em depósito mineral, cabendo ao minerador o cumprimento das exigências presentes nos Relatórios de Conservação Ambiental e Plano de Controle Ambiental, bem como o Plano de Recuperação de Área Degradada. A segunda situação leva em consideração a extração informal, que deve ser observada, tendo em vista esta extração não ter nenhum controle dos órgãos públicos, como o Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, Superintendência Estadual do Meio Ambiente - SEMACE, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e Prefeituras Municipais.

Os principais materiais aqui enfocados são às areias branca, vermelha e grossa, o saibro ou piçarra usada para aterro e a brita utilizada para o concreto e para o leito da ferrovia.

A mineração de areia branca ou fina, utilizada especificamente para a construção civil apresenta 9 extrações localizadas na Bacia do Ceará, das quais 2 são informais e 18 extrações na Bacia do Cocó, sendo 4 de forma informal. A areia vermelha apresentam duas extrações na Bacia do Cocó, todas regularizadas. A areia grossa é apresentada em 27 extrações, assim localizadas: 15 extrações na Bacia do Ceará, sendo 13 informais; 12 na Bacia do Cocó, sendo 09 também informais. A extração de areia grossa, ou arisco, quase sempre é praticada pela população ribeirinha, sem nenhuma preocupação com a recuperação ambiental. Este fato é de importância significativa para a avaliação e construção do Trem Metropolitano de Fortaleza, uma vez, que parte dessa extração informal, é feita nos meandros

dos rios e riachos que compõem as bacias, onde essa extração desmonta toda estrutura hidrológica e hidráulica, deixando nos leitos e margens, cavas que transformam a drenagem natural em áreas de acúmulo.

Quanto ao saibro ou como é conhecida a piçarra, foram observadas 17 extrações neste estudo, das quais 14 localizadas na Bacia do Cocó, sendo 04 informais; 2 localizadas na Bacia do Pacoti, sendo ambas informais e 1 extração regularizada na Bacia do Ceará.

A pedra britada apresenta 06 extrações localizadas na Bacia do Ceará, com apenas 01 extração informal e 03 extrações regularizadas na Bacia do Cocó.

Observou-se que em todas as áreas visitadas, os trabalhos de extração comprometem as drenagens superficiais, além de em muitos locais já haver o afloramento do lençol freático, culminando com a sua poluição, seja por óleo e graxas, seja através da contaminação orgânica.

Os impactos ocasionados pela extração de areia nos leitos dos rios, segundo Carneiro Filho (1999) são: "a alteração da dinâmica fluvial, devido o regime intermitente e a reduzida capacidade de descarga dos cursos d'água com modificações hidrodinâmicas pelo rebaixamento dos leitos fluviais". Conforme o autor, são acelerados "... os processos erosivos das margens, aumentando a quantidade de material fino, silte e argila em suspensão, o que deixa as águas mais turvas". Além desses fatores, há o "... assoreamento da rede de drenagem com a formação de áreas de riscos, com inundações e alagamentos". Bem assim, ocorrem os desmatamentos e destruição da mata ciliar, trazendo como consequência à desestabilização das margens.

De acordo com esse autor, as medidas de controle ambiental para essas atividades são:

- planejamento da lavra, com vistas a manter o canal fluvial regularizado com a extração distante das margens;
- preservação de uma faixa de segurança com relação aos taludes dos rios;

- preservação da mata ciliar; e,
- os acessos deverão ser feitos sempre na perpendicular às margens.

Como resumo total dessas bacias, de acordo com Trabalho do Departamento Nacional da Produção mineral *in* Carneiro 1999, temos o seguinte resumo, aqui relacionado todos os tipos de mineração para as duas bacias citadas:

BACIA COCÓ

Areia Branca	18 ocorrências	25,00%
Areia Vermelha	02 ocorrências	2,78%
Areia Grossa	12 ocorrências	16,67%
Argila	17 ocorrências	23,60%
Saibro	14 ocorrências	19,45%
Pedras Britadas	03 ocorrências	4,16%
Rochas	nenhuma ocorrência	0%
Rochas Alcalinas	02 ocorrências	2,78%
Diatomito	02 ocorrências	2,78%
Água Mineral	02 ocorrências	2,78%
Minerais Industriais	nenhuma ocorrência	0%
Pedras Ornamentais	nenhuma ocorrência	0%
Total	72 ocorrências	100%

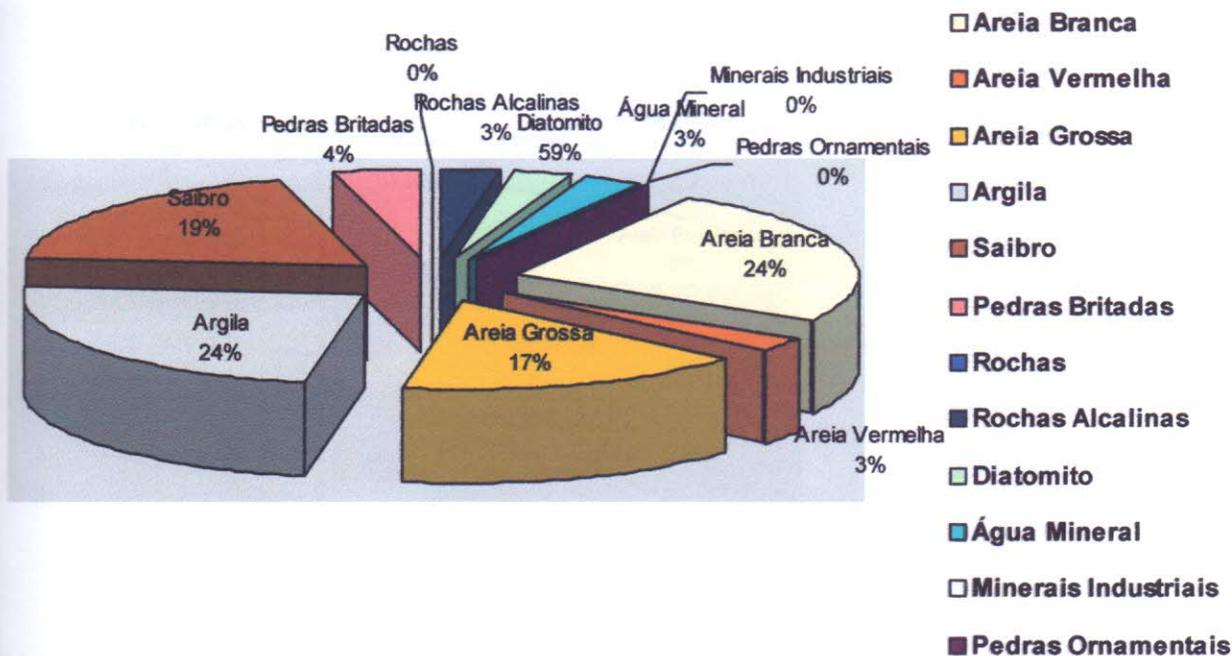


Figura 08: Gráfico das minerações situadas na Bacia do Rio Cocó. Fonte: DNPM (1996).

BACIA CEARÁ

Areia Branca	09 ocorrências	17,65%
Areia Vermelha	nenhuma ocorrência	0%
Areia Grossa	15 ocorrências	29,41%
Argila	08 ocorrências	15,69%
Saibro	01 ocorrência	1,96%
Pedras Britadas	06 ocorrências	11,77%
Rochas	03 ocorrências	5,88%
Rochas Alcalinas	02 ocorrências	3,92%
Diatomito	02 ocorrências	3,92%
Água Mineral	nenhuma ocorrência	0%
Minerais Industriais	05 ocorrências	9,80%
Pedras Ornamentais	nenhuma ocorrência	0%
Total	51 ocorrências	100%

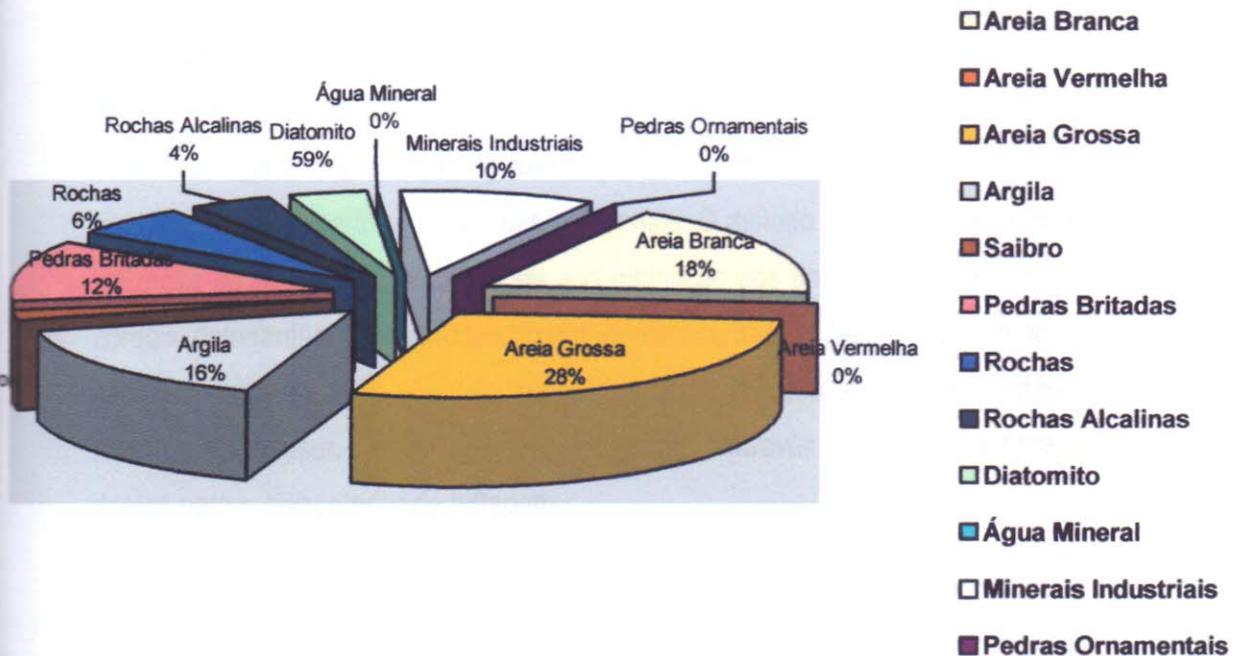


Figura 09: Gráfico das minerações situadas na Bacia do Rio Ceará. Fonte: DNPM (1996).

Pedras Britadas

As rochas graníticas e as rochas vulcânicas são utilizadas na construção civil como pedras britadas, nas diferentes especificações comerciais para concretos, lastros e calçamentos, bases e revestimentos, inclusive asfálticos. As principais áreas com extração de matéria-prima para utilização como pedra britada estão representadas pelas Serras do camará, da Conceição e do Juá, Serrote das Cajazeiras e pelas Serras de Maranguape, Monguba e Itaitinga.

Na produção de brita o minerador utiliza uma unidade de beneficiamento, constando o processo de comunicação do minério com britagem primária, secundária e, às vezes, terciária, intermediando com peneiramento que visa à classificação do produto em várias granulometrias.

A forma tecnicamente adequada do desmonte de rocha é por meio da execução de bancada, usando-se um plano de fogo, que reúne todos os elementos necessários à sua execução. A exploração em encosta ou bancada combina o desmonte, carregamento e transporte do minério aos consumidores. Toda esta exploração é antecedida pelo desmatamento da cobertura vegetal e a remoção do solo da jazida. Nesta etapa ocorre grandes impactos tendo em vista que a fauna foge para áreas adjacentes. O método de extração é mecanizado com a utilização de explosivos, podendo ser a combinação dos tipos iniciadores, como espoletas e cordéis detonantes, Deflagrantes, como a pólvora negra, Detonantes, como as dinamites nitrato de amônia NCN, além do acessórios como estopim, espoletas, cordéis detonantes, retardos e explosor. Os carregamentos são feitos através de máquinas para vagonetas e destas para o alimentador de britagem.

O minério proveniente da frente de lavra é basculado no alimentador vibratório, seguindo quase sempre para um britador de mandíbulas, e através de correias transportadora, lançando a pilha de material primário. O produto resultante da britagem primária é transportado para a britagem secundária, onde é colocado no alimentador vibratório, seguindo para a peneira vibratória que separa as frações utilizadas.

Algumas empresas adotam o sistema de bancadas sucessivas com lavra planejada, porem em geral, observa-se, paredões explorados íngremes, em bancada única.

Essas rochas estão inseridas em vários tipos de feições geomorfológicas, compartimentadas como a depressão sertaneja, abrangendo principalmente os municípios de Caucaia, Maranguape, Pacatuba, Guaiúba, Itaitinga, Choró, correspondendo a uma superfície de aplainamento desenvolvida sobre as rochas do embasamento cristalino, onde o trabalho truncou indistintamente variados tipos litológicos. Os maciços residuais e vertentes e platôs úmidos, mostrados através da forte ruptura dos declives das serras, morros residuais e vertentes e platôs úmidos. Estas são as unidades geoambiental que apresenta o maior potencial, ou seja, as melhores reservas para a extração de rochas para pedras britadas.

A produção de brita gera impactos nas etapas de extração e de beneficiamento, sendo que os problemas assumem maior gravidade, quando as pedreiras localizam-se junto a núcleos urbanos. As instalações de britagem e de peneiramento liberam grande quantidade de poeiras fugitivas e pó, que se espalha nas circunvizinhanças.

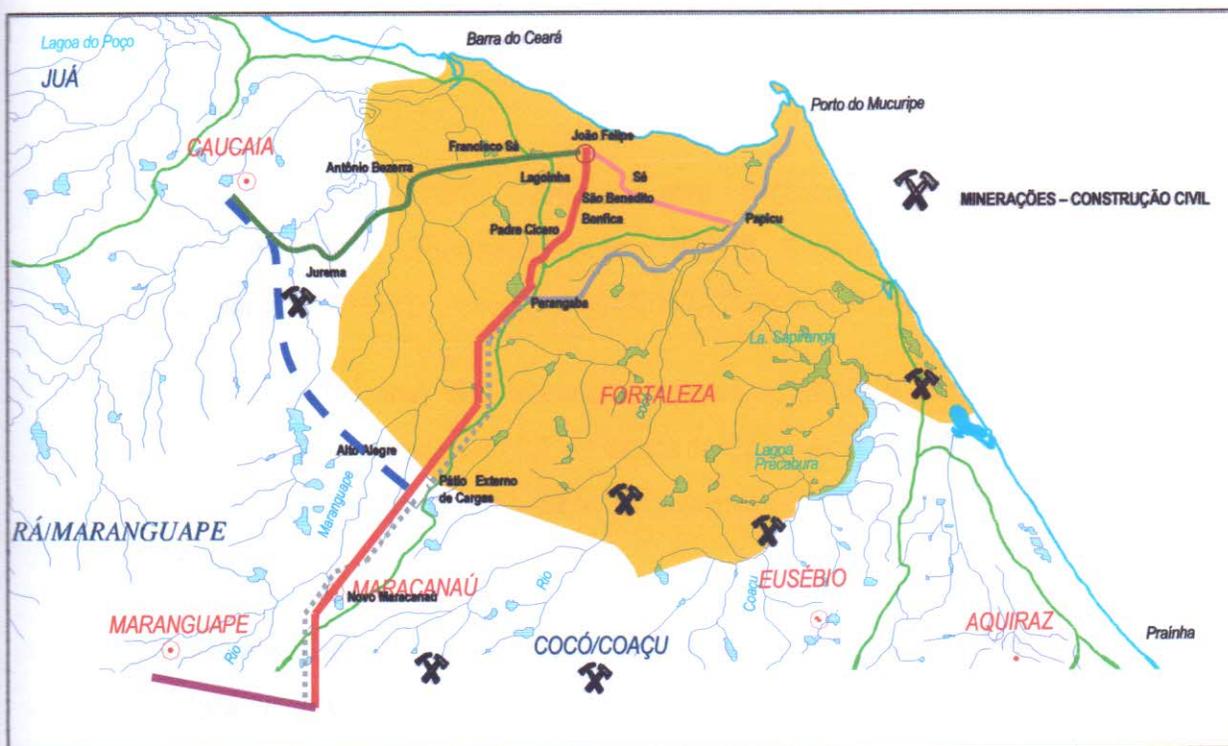


Figura 10: Mapa da RMF, mostrando as áreas de minerações utilizadas no METROFOR

As áreas escolhidas pelo Consórcio Construtor do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, foram as listadas abaixo, uma vez que todas estavam regularizadas junto ao D.N.P.M., SEMACE, Prefeituras Municipais e outros órgãos competentes.

- Pedro Nolasco de Freitas - Saibro - Processo D.N.P.M. n° 800263/2000 - Sítio Coaçu, Messejana. – Licença n° 002/2000 – Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SMDT – PMF ; Autorização n° 002/2000 – Secretaria Regional VI – PMF.

- ▶ Marcelo Pinheiro de Freitas - Saibro - Processo D.N.P.M. n° 801022/1996 - Coaçu – Messejana - Licença n° 001/2001 – Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SMDT – PMF; Autorização n° 001/2000 – Secretaria Regional VI – PMF.
- ▶ Empreendimentos Imobiliários J. Jorge Vieira Ltda. - Saibro- Processo D.N.P.M. n° 800210/1999 - Ancuri – Messejana - Licença n° 001/1999 – Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SMDT – PMF; Autorização – Secretaria Regional VI – PMF.
- ▶ Arivaldo Tavares Araruna - Areia e Saibro - Processo D.N.P.M. n° 800221/1999 - Pacatuba – CE – Licença de Operação n° 881/99 – Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE; Licença n° 001/2000 – Prefeitura Municipal de Pacatuba - PMP.
- ▶ IPECEA – Industria de Pescado do Ceará - Saibro - Processo D.N.P.M. n° 800221/1999 - Maracanaú - CE. – Licença de Operação n° 881/99 – Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE; Licença n° 001/2001 – Prefeitura Municipal de Maracanaú - PMM.

Além destas áreas onde foram explorados materiais para a construção do Trem Metropolitano de Fortaleza, verificou-se uma enorme quantidade de material extraído em decorrência da escavação da laje de teto e da escavação inversa.

Como uma forma de dimensionar quantitativamente o material explorado e usado nesta obra, segue um resumo dos materiais extraídos:

Escavação da execução da laje de teto (4,5m) e estações (até 11,0m):

- | | |
|------------------|-------------------------|
| → até 2,00m | 68.218 m ³ ; |
| → até 6,00m | 92.849 m ³ ; |
| → acima de 6,00m | 37.545 m ³ . |

Escavação Invertida (túnel):

→ até 7,00m 50.341m³.

Linha Sul e Variante de Carga (Cortes e escavações):

→ 951.881 m³.

Total de material extraído: 1.200.834 m³.

Parte deste material extraído é retornado para o reaterro superior na linha subterrânea, onde até o momento foram recolocados 70.405 m³ de reaterro e cerca de 652.970 m³ para a variante de carga e linha sul, totalizando 723.375 m³. O material de segunda e terceira são transportados para os diversos bota-foras, principalmente um localizado na BR-116 e em áreas mineradas, com o objetivo de determinar nova conformação morfológica dos locais degradados pela mineração.

Outra parte do material destinado para o bota fora, foi cedido a defesa civil para aterros de áreas alagadas pelas enchentes que aconteceram nos dois últimos anos na Região Metropolitana de Fortaleza, além de parte também cedida a Prefeitura de Fortaleza, para recomposição paisagística de áreas e para base e sub-base de rodovias.

Quanto a brita e areia, até o momento utilizou-se 74.741 m³ de concreto, que representa 35.875 m³ de areia e 61.288 m³ de brita. Utilizou-se também brita para os drenos profundos num total de 3.546 m³ e areia para sub-lastro e camada drenante num total de 99.917 m³.

Os outros materiais foram utilizados diretamente nas obras de construção civil, como as estações, pátio de manobras e escritórios, oficinas, etc.

O impacto gerado na etapa de extração do bem mineral é iniciado com a retirada do solo e desmatamento e com a geração de taludes e encostas muitas vezes instáveis, desenvolvendo focos erosivos e o conseqüente assoreamento de recursos hídricos e de drenagem superficial. A deposição do estéril (solo decapeado) e dos finos resultantes tanto da extração (areias)

quanto da britagem (pó de pedra), quando feito de forma inadequada tornam-se geradores de grandes impactos ambientais nestas áreas de mineração. Outro impacto considerável é a emissão de ruídos e vibrações no momento da utilização de maquinário, na perfuração, no desmonte, quanto no processo de britagem. O uso irregular de explosivos nas atividades clandestinas tem gerado problemas com relação à segurança dos trabalhadores nas frentes de lavra, gerando áreas de alto risco.

As oficinas, os locais de abastecimento de combustíveis e os lavadores de veículos e máquinas existentes nas pedreiras constituem focos de poluição hídrica por óleo e graxas e poluição do aquífero por falta de saneamento nestas áreas.

O abandono de equipamentos fora de uso, ou seja, as sucatas em locais inadequadas, constituem um fator de degradação ao meio ambiente. A erosão do solo é verificada, principalmente nos setores de declividade mais acentuada e desmatada para o acesso das perfuratrizes aos níveis mais elevados das pedreiras, fazendo com que, haja o aparecimento de áreas de risco, geradas pela instabilização das encostas, que podem provocar movimentos (deslizamentos), favorecidos quando se empregam métodos inadequados de lavra, como bancada única e plano de fogo mal planejado, que também geram ultralançamentos de fragmentos, atingindo distâncias que colocam em risco os trabalhadores e as comunidades vizinhas.

Observa-se como resultado dessa atividade, principalmente nas Serras de Maranguape e Pacatuba, a desfiguração da paisagem, ou poluição visual, gerando imensos conflitos com sítios e populações adjacentes, que utilizam essas áreas para lazer.

As medidas de controle e reabilitação destas áreas de exploração consistem, inicialmente com o zoneamento e planejamento ambiental/mineral, com a delimitação de usos futuros da área, delimitação da área a ser lavrada, além de uma ordenação e planejamento. A regularização e fiscalização das lavras, evita o aparecimento de lavras clandestinas, que não possuem controle técnico ou ambiental.

O controle dos processos de erosão e assoreamento deve ser executado com a finalidade de minimizar os impactos decorrentes desses processos, com um planejamento de lavra e medidas de suavização das encostas, evitando também a poluição hídrica. Os cursos d'água deverão ter a faixa de proteção legal dos leitos, conforme legislação vigente, bem como o estabelecimento dos limites da lavra e de áreas de proteção.

O controle de ruídos, mediante a utilização de um plano de fogo adequado, com sinalização sonora, o uso de equipamentos de prevenção a acidentes EPI, além de sinalização visual na área, são medidas de controle ambiental, necessárias a qualquer área de exploração de bens minerais.

Um fator preocupante é a utilização de mão de obra infantil, levado por parentes às áreas de exploração, para marroar pedras e paralepipedo.

A reabilitação adequada da área lavrada e a aplicação de educação ambiental também são de suma importância para a comunidade envolvida no processo extrativo.

Principais impactos gerados no meio ambiente:

- Desnudação do solo;
- Desfiguração da paisagem;
- Geração de taludes e encostas instáveis;
- Erosão;
- Assoreamento dos recursos hídricos;
- Geração de poeiras, gases, ruídos e vibrações locais;
- Poluição hídrica;
- Ultralançamentos de fragmentos;
- Disposição inadequada do rejeito;
- Insegurança no trabalho e

- Redução da fauna e flora local.

Medidas de controle ambiental da atividade:

- Zoneamento e planejamento ambiental e mineral;
- Regularização e/ou fiscalização da lavra;
- Controle dos processos de erosão e assoreamento;
- Estabelecimento dos limites de lavra e proteção dos ecossistemas locais relevantes;
- Estocagem e reposição do solo orgânico decapeado para revegetação da área;
- Redução de poeiras por umidificação das vias de acesso;
- Controle das vibrações com plano de fogo adequado;
- Treinamento e uso de equipamentos para o controle de ruídos e acidentes do trabalho;
- Controle da poluição hídrica com uso de sistemas de drenagem de águas pluviais e de separadores de sólidos, óleos e graxas;
- Sinalização das áreas de risco e definição de zonas de proteção no entorno das pedreiras e;
- Reabilitação final adequada.

Todas os bens minerais, como areias, saibro, etc, utilizadas para a construção das obras civis, pelo Consórcio Construtor QGCC (Queiroz Galvão – Camargo Correia), tiveram executadas em suas áreas mineradas, as medidas de controle ambiental mencionadas anteriormente.

5.1.6 IMPACTO AMBIENTAL ATRAVÉS DA MINERAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Os impactos ambientais serão demonstrados para as áreas de extração de material usado na construção civil. O estabelecimento de critérios para a avaliação dos impactos ambientais de uma determinada atividade sobre o meio requer uma definição de prioridades, realizado a partir do momento em que se obtém um conhecimento detalhado de todos os aspectos ambientais importantes da área objeto do estudo, assim como seu entorno.

Foi considerada a abrangência do método em relação à natureza da atividade a ser analisada, estabelecendo critérios para a avaliação dos impactos, tendo em vista a atividade sobre o meio, que se obtém através do conhecimento detalhado de todos os aspectos ambientais importantes da área em estudo.

Nos Estudos de Impactos Ambientais, objetiva-se quantificar e qualificar as alterações decorrentes do empreendimento no meio ambiente. Na definição do impacto, deve-se considerar os aspectos físicos, que abrange os estudos de impactos geobiofísicos, e o aspecto antrópico, que observa os aspectos sócio-políticos, sócio-econômicos e culturais, devendo-se então analisar as conseqüências da ação.



Foto 08: Área recuperada após a mineração de sedimentos areno-argilosos (Formação Barreiras) para o Trem Metropolitano de Fortaleza, em Pacatuba – Ceará.

TABELA 04 – RECURSOS MINERAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA E IMPACTOS CAUSADOS PELA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO POR UNIDADES GEOAMBIENTAIS

REGIÃO NATURAL	CARACTERIZAÇÃO E POTENCIALIDADE MINERAL					IMPACTOS PRODUZIDOS		
	Lito-estratigrafia	Bem mineral	Localização	Uso	Registro de licenciamento	Impactos previstos (comentários)	Consequências	Grau de impactos (*)
PLANÍCIES ALUVIAIS DO RIOS CEARÁ, MARANGUAPI-NHO, COCÓ E AFLUENTES	Quaternário: sedimentos arenosos argilosos incluindo siltes, argilas e cascalhos	Areia grossa Argila	Planícies aluviais	Construção civil Cerâmica estrutural: tijolos, telhas, combogós e pisos.	Atividade não regulamentada	Desmatamento, escavações, erosão e assoreamento.	Erosão e destruição do solo, inundações.	B
	Pré-Cambriano: Complexo Granitóide-Migmatítico	Granito	Maranguape, Pacatuba e Itaitinga	Brita e revestimentos	Pedido de pesquisa	Retirada da cobertura vegetal, remoção do solo, escavação/desmonte, depósito de rejeito, uso de explosivos e cava.	Modificação da paisagem, alteração do ecossistema, erosão, alteração na qualidade do solo, assoreamento dos cursos d'água próximos, emissão de ruídos e vibrações.	M
MACIÇO RESIDUAL (450–850 m)	Pré-Cambriano: Complexo Gnáissico-Migmatítico	Calcário	Caucaia	Fabricação de cal, fertilizantes, tintas, rocha ornamental.	Jazimento	Desmatamento, retirada do solo, alteração na topografia e desmonte de rocha.	Erosão, alterações hidrológicas e assoreamento.	B

Fonte: MOREIRA, 2002

(*) Grau de impacto ambiental: (A) alto; (M) médio; (B) baixo; (I) insignificante e (N) nulo.

5.2 ESTUDO HIDROGEOLÓGICO NA BACIA METROPOLITANA DE FORTALEZA

As águas subterrâneas dentro das bacias citadas neste documento, refletem o comportamento integrado dos fatores ambientais, como a litologia, a estratigrafia, o solo, a vegetação, a taxa de escoamento superficial, a pluviometria e o excedente hídrico, interferentes na trajetória da água através do ciclo hidrológico.

Na área onde está sendo construído a Linha Norte – Sul, os fácies litológico dominantes são as areias quaternárias de dunas e sedimentos areno-argilosos da Formação Barreiras, que capeam as rochas cristalinas subjacentes.

Os aquíferos predominantes são o dunas, o barreiras e o cristalino. O Aquífero Dunas é caracterizado por ser do tipo livre, constituídos principalmente por areias quartzosas, bem classificadas, de alta permoporosidade, onde repousam em contato direto sobre a Formação Barreiras, com uma espessura saturada variável, que em alguns locais pode atingir 14,0 metros. O armazenamento das águas subterrâneas ocorre na porção interior do aquífero e a sua recarga dá-se por infiltração direta das águas pluviais, com alimentação prolongada através dos reservatórios superficiais. Na área onde está sendo implantado o Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, em suas linhas de Carga e Linha Norte-Sul, não houve condições de identificação da espessura dessa unidade, devido às condições de impermeabilidade sofrida na área pela urbanização da cidade de Fortaleza, porém de acordo com estudos hidrogeológicos apresentados por Gurgel, 1984 e Brandão, 1994, feitos neste aquífero estima-se que cerca de 09 metros inferiores deste aquífero tenham água armazenada, numa vazão também estimada de 1,2 m³/h (metros cúbicos por hora).

O aquífero Barreiras possui características hidrodinâmicas mais variadas, principalmente em função da variedade nas litologias que o compõe. As possibilidades hidrogeológicas estão restritas aos níveis arenosos, inseridos nas seqüências argilosas. Para a região litorânea cearense, esse aquífero pode atingir até 10,0 metros saturados, com seus tipos de aquíferos

livre, suspenso ou confinados, apresentando uma profundidade média de 45 metros e vazão em torno de 2,5 m³/h.

No cristalino, as vazões são pequenas em função da pouca presença de interstícios armazenadores, como os planos de fraturamento, logo, condicionado pela litologia. Os poços presentes neste aquífero exibem altas taxas de salinização. Alguns poços na Região Metropolitana de Fortaleza, presentes neste aquífero demonstram uma profundidade média de 85,0 metros e vazão não superior a 1,6 m³/h.

Foi observado que os recursos hídricos subterrâneos estão atrelados aos efeitos da urbanização quanto aos recursos superficiais, pois acumulam águas superficiais infiltradas diretamente do escoamento pluvial, que circulam pelo ambiente urbano.

5.2.1 APLICAÇÃO DE PONTEIRAS FILTRANTES NO REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

A construção do Trem Metropolitano de Fortaleza - METROFOR requereu escavações abaixo do lençol freático. Essas escavações exigem uma determinada drenagem, bem como um rebaixamento do lençol freático da área. Existem vários métodos para rebaixar a água existente no subsolo. Algumas observações são importantes para a verificação de qual método de rebaixamento deverá ser utilizado, como por exemplo, os diversos níveis de água do subsolo, as quantidades de água que infiltram, entre outras. Observa-se que ao realizar um rebaixamento do lençol freático, se produz certa alteração nas condições naturais do subsolo, podendo surgir defeitos nas escavações se o rebaixamento for realizado incorretamente.

Entre os métodos de rebaixamento, pode-se observar 4 métodos mais usados atualmente, que são as ponteiras filtrantes, poços profundos, drenagem gravitacional e a vácuo e por eletrosmose.

A figura a seguir apresenta esquematicamente os métodos de rebaixamento usados em função das curvas granulométricas dos materiais.

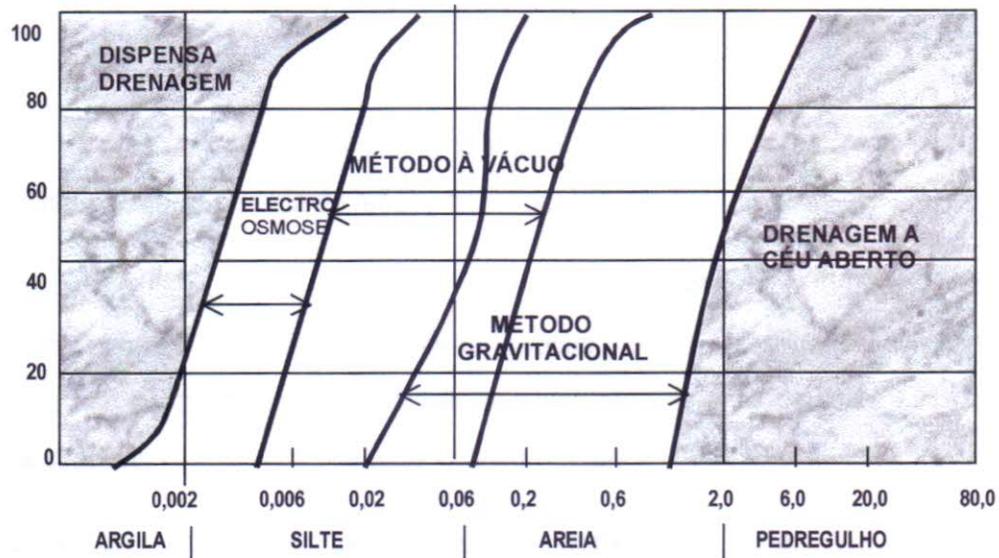


Figura 11: Gráfico esquemático dos métodos de rebaixamento do lençol freático, in Procedimento para uso de Ponteiros Filtrantes, METROFOR, 2000.

As faixas de aplicação dos diferentes métodos, em relação ao coeficiente de permeabilidade (K) são:

$K = 1$ a 10^{+2} cm/seg	Drenagem a céu aberto
$K = 10^{-1}$ a 10^{-4} cm/seg	Poços Profundos gravitacionais – Ponteiros Filtrantes
$K = 10^{-3}$ a 10^{-5} cm/seg	Poços Profundos a vácuo
$K = 10^{-5}$ a 10^{-6} cm/seg	Método Eletrosmótico
$K = 10^{-5}$ a 10^{-6} cm/seg	Esgotamento intermitente, empregado para pequenas infiltrações.
$K = 10^{-7}$ cm/seg	Dispensa, de um modo geral a drenagem.

Quadro 02: Coeficiente de permeabilidade e os métodos propostos para rebaixamento, in Procedimento para uso de Ponteiros Filtrantes, METROFOR, 2000.

5.2.2 PONTEIRAS FILTRANTES

O processo de rebaixamento do lençol freático utilizado no METROFOR, para a construção do túnel, é conhecido como sistema de rebaixamento por ponteiras, ou, "well-points".

Empregam-se ponteiras filtrantes de 1 ½" a 2 ½" de diâmetro, com 30 a 100 cm de comprimento, para drenagem por gravidade ou a vácuo. As ponteiras filtrantes consistem de um tubo de aço ou cobre perfurado, envolto por uma rede de telas de cobre ou aço com malhas adequadas, com um tubo metálico fechado com 8m à 9m de comprimento.

Os mesmos são descidos por cravação. Os tubos verticais são conectados à tomada do coletor por meio de uniões articuladas providas de visor, permitindo assim o exame do funcionamento de cada uma das ponteiras.

As ponteiras filtrantes são colocadas ao longo de uma linha, também chamada de linha coletora, tendo um espaçamento de 1 a 3m, observando-se não ultrapassar 15 vezes o diâmetro do tubo, evitando assim que a área trabalhada não ultrapasse a curva de rebaixamento, ligando-se todas as pontas a um cano coletor comum. No final deste acha-se instalado um conjunto motor-bomba, que subtrai do coletor a água e eventualmente o ar que penetra nas ponteiras filtrantes. Da bomba sai um cano de descarga, de capacidade do coletor, que conduz a água para um local mais apropriado à evacuação, como a rede de drenagem local. Para cada conjunto de bombas em operação, deve-se instalar um conjunto adicional de reserva, pronto para entrar em operação, em caso de falha do sistema.

Para o caso de se necessitar do emprego do vácuo, liga-se em série ao sistema uma bomba de vácuo. Esse sistema é empregado quando o rebaixamento por ponteiras não alcança o objetivo desejado.

O vácuo mínimo necessário à efetiva subida da água até a tomada da bomba de recalque é função da espessura do aquífero, do desnível entre o nível estático do lençol freático e o da tomada da bomba e das perdas de carga nos diversos trechos. Neste sistema, a eficiência da bomba de vácuo e, em conseqüência, as grandezas do vácuo obtidas dependem fundamentalmente da estanqueidade do sistema, logo, deve-se evitar ao máximo, entradas de ar no sistema, quer pelas ponteiras, quer pelas ligações ao longo das tubulações.

A desvantagem deste sistema consiste numa limitação de rebaixamento do lençol freático em cerca de 5,0m de profundidade, com a instalação de um estágio de rebaixamento com ponteiras. A drenagem de escavações mais profundas deverá ser realizada por meio de vários estágios de ponteiras.

O sistema de ponteiras tem a vantagem de expulsar a água da escavação, estabilizando os lados e permitindo taludes mais íngremes e menor custo da escavação.

Com base no boletim de sondagens executados na área em que se pretende instalar um rebaixamento através da metodologia de ponteiras filtrantes, se desenvolve a seção transversal, levando-se em consideração a profundidade do nível freático, ou nível estático. Nos boletins de sondagem devem constar à profundidade máxima e o tipo de solo a ser drenado.

Para o cálculo da vazão aproximada de uma linha de ponteiras, utiliza-se o ábaco convencional, onde são colocados os dados da profundidade do rebaixamento, em pés "groundwater lowering" e o tipo de solo a ser rebaixado, tendo como resultado a vazão linear dada em "gpm/ft".

Para o cálculo de espaçamento entre as ponteiras, que muitas vezes é desprezado pelas empresas que utilizam esse método, é necessário utilizar outro Ábaco internacional, onde se entra com a profundidade do rebaixamento em pés "groundwater lowering" e o tipo de solo onde vai haver o rebaixamento, com isso obtém-se o espaçamento em pés.

No Trem Metropolitano de Fortaleza, vem sendo procedido o rebaixamento de Lençol Freático, no trecho subterrâneo, observando que após os estudos geotécnicos, o espaçamento entre as ponteiras filtrantes ficou em 1,0m e o tipo de solo foi caracterizado como areia siltosa.

Para o início dos trabalhos, inicia-se uma escavação até onde começa a surgir o nível d'água, a cerca de 2,50 metros de profundidade. Neste momento, faz-se a colocação do primeiro jogo de ponteiras filtrantes, as mesmas com um tamanho de 6,0 metros de comprimento.

As ponteiras são colocadas na largura do módulo de concretagem, cada módulo tem dimensão de 30,80m por 9,0m. Em cada módulo constam 14 lamelas (paredes diafragmas com 2,20m).

Através dos ensaios geotécnicos como sondagens STP, ensaios de permeabilidade e de densidade, de cisalhamento direto, triaxiais e a determinação dos índices de vazios máximo e mínimo, chegaram-se a uma equidistância de 1,0m entre as ponteiras de drenagem, as mesmas são colocadas perpendiculares as extensões do módulo. O primeiro conjunto de ponteiras, com 08 ponteiras (9,0m de largura do módulo), possui tamanho de 6,0m (seis metros) e foram colocadas no início do módulo, ainda em solo. Depois de instaladas, as mesmas trabalham 8 horas, a fim de iniciar o rebaixamento, até uma profundidade superior aos 4,5m, para a continuação dos trabalhos de escavação.



Foto 09: Colocação de conjunto de ponteiras no trecho escavado até 2,5 metros, na Av. Carapinima.

A escavação é parcializada, sendo executada em cada 2 lamelas por módulo, ou seja, a cada 4,40m, chegando-se a profundidade requerida pelo projeto de 4,5m, para a execução da laje superior do túnel do Trem Metropolitano de Fortaleza.

A medida, que se avança à escavação, após 8 lamelas, ou cerca de 22,0m, nota-se a necessidade da instalação de um outro jogo de ponteiros, haja vista, a surgência de água. Esse novo conjunto de ponteiros filtrantes é imediatamente colocado, a fim de ser liberada o trecho para a concretagem da laje.

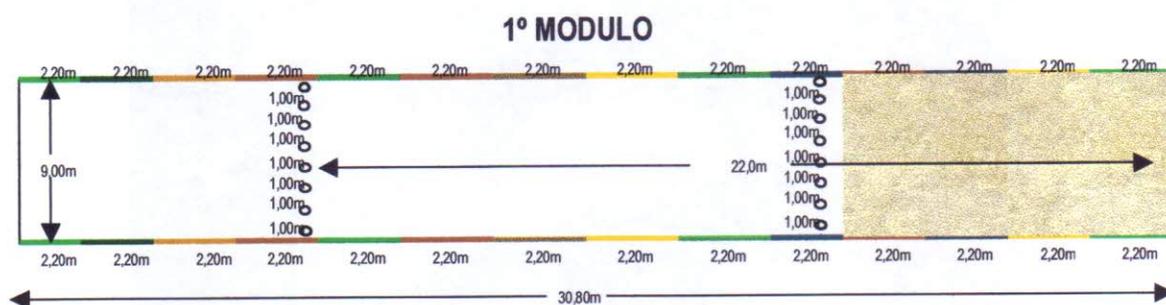


Figura 12: Escavação parcializada, sendo executada em cada 2 lamelas por módulo. A medida, que se avança à escavação, após 8 lamelas, existe a necessidade da instalação de um outro jogo de ponteiros, tendo em vista surgência de água.

Liberado o trecho, para o início da concretagem da laje, retira-se o segundo jogo de ponteiros. O 1º jogo de ponteiros drenantes não é retirado, pois está contendo a água do solo no início da escavação.

Quando o 2º jogo é liberado, o mesmo é colocado à 22m do módulo que acaba de ser concretado, dando continuidade ao rebaixamento com a finalidade de se iniciar a escavação do próximo módulo. Esse procedimento é realizado até o final de todos os módulos envolvidos no trecho subterrâneo do Trem Metropolitano de Fortaleza.

Com a escavação de todos os módulos, inicia-se a impermeabilização executada com uma laje de concreto de 1,20 cm, e em seguida o reaterro, liberando o trecho para o tráfego, neste

momento também se retira o 1º jogo de ponteiras. No final de todo o reaterro, retira-se o último conjunto de ponteiras. A vazão média do conjunto de ponteiras atualmente é de cerca de 200 l/h. Após o funcionamento de 60 dias das ponteiras filtrantes, onde são executados 4 módulos de laje, é retirado o último conjunto de ponteiras, fazendo o nível d'água retorna ao nível inicial com aproximadamente 07 dias.

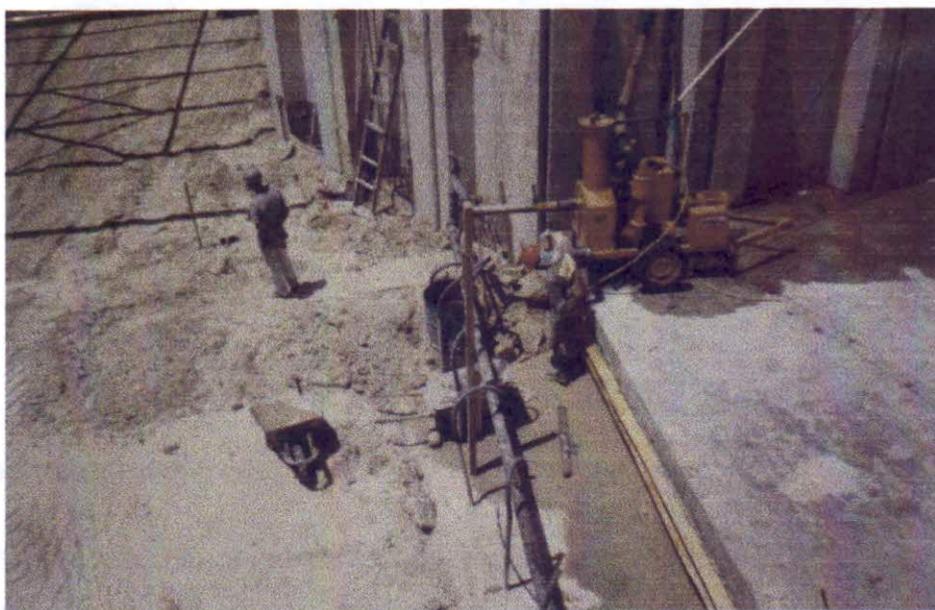


Foto 10: Colocação do 2º conjunto de ponteiras a uma distancia de 22m do primeiro jogo, na Av. Carapinima.

No trecho subterrâneo esta sendo utilizado o processo construtivo denominado vala a céu aberto ou "Cut and Cover", que é aplicada em todo o mundo, sendo empregada com sucesso nos metrô de São Paulo e Rio de Janeiro.

O processo é formado por várias etapas, conforme descrito a seguir:

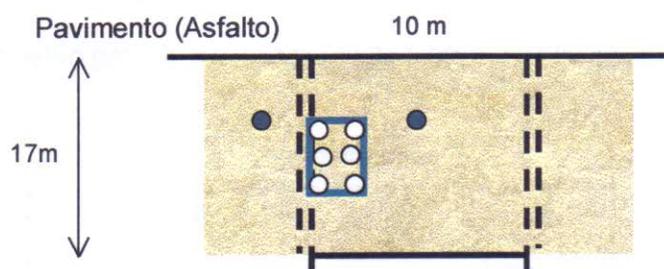


Foto 11: Impermeabilização da laje superior do túnel.

1º ETAPA:

Remoção de Interferências:

Todas as tubulações que se encontram na área, como as tubulações de água, luz, gás, telefone, esgotos, etc), são previamente remanejadas, antes do início das escavações. Nesse momento inicia-se o rebaixamento do lençol freático.



Esta etapa é executada ao mesmo tempo da etapa de execução das paredes guias e escavação e posicionamento da parede diafragma.

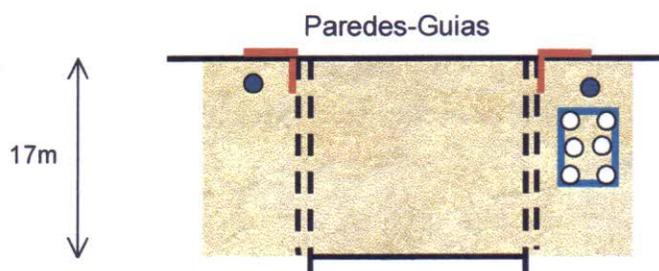


Foto 12: Remoção das interferências. Na foto pode ser observada a retirada de uma árvore da Av. Carapinima.

2º ETAPA:

Execução da Parede-Guia:

Esta parede serve como orientação ao balizamento das paredes diafragmas, ou seja, tem como objetivo garantir o alinhamento do túnel e a verticalidade das paredes diafragmas.



3º ETAPA:

Execução das Paredes-Diafragmas:

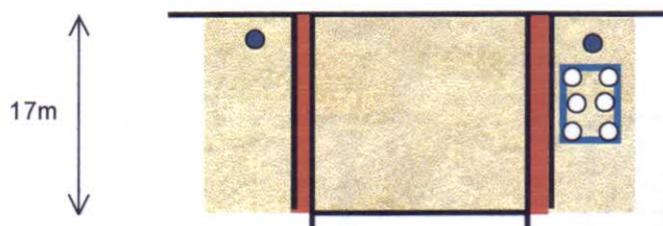
Com guindastes Bucyrus dotados de equipamentos especiais de escavação, no caso, "Clan Shel", são executadas valas de até 17,0 metros de profundidade e de 2,20 metros de extensão, correspondente a largura das placas (paredes diafragmas) e com uma espessura de 60 cm. Com o objetivo de garantir a estabilidade das valas abertas, o material escavado é retirado e remanejado para bota-foras previamente escolhidos e substituído por um fluido especial (lama bentonítica), evitando abrasão e desmoronamento da vala.

As escavações para a localização das paredes diafragmas foram executadas de acordo com o projeto, até o equipamento de escavação encontrar a rocha pré-cambriana alterada, com SPC ≥ 30 martelada para descer 10 cm. Em alguns módulos foi necessário usar um trepano (equipamento com 5 toneladas), para desagregação desta rocha alterada, já que a mesma encontrava-se acima da cota estabelecida no projeto, indicando que no centro da cidade de Fortaleza, precisamente na Av. 13 de maio com Av. Carapinima, as rochas alteradas do topo do embasamento cristalino encontra-se a cerca de 14 metros de profundidade.

Após esta etapa são colocadas as Paredes-Diafragmas, em placas Pré-moldadas e depois é feita a concretagem da ficha interna.

Concluída a escavação, são lançados os painéis pré-moldados, feito de concreto, com um peso de aproximadamente 25,0 toneladas. Estes painéis têm por objetivo o escoramento da vala durante a escavação e posteriormente esse painéis serão as paredes definitivas do túnel. A fundação destas placas é concretada no local.

Paredes-Diafragmas



4º ETAPA:

Após a execução das paredes diafragmas, é feita a primeira campanha de rebaixamento do lençol freático, tendo como objetivo a escavação entre as paredes até chegar a profundidade da laje de teto, para posterior concretagem da mesma, utilizando-se o método de ponteiros filtrantes ou, "well-points". Os mesmos são descidos por cravação. Os tubos verticais são conectados a tomada do coletor por meio de uniões articuladas providas de visor, permitindo assim o exame do funcionamento de cada uma das ponteiros.

No trecho subterrâneo do Trem Metropolitano de Fortaleza, observando que após os estudos geotécnicos, foi escolhido o espaçamento entre as ponteiros filtrantes de 1,0m (um metro) e que o tipo de solo esta caracterizado como areia siltosa. Os inícios dos trabalhos começam com uma escavação até a cerca de 2,50 metros de profundidade, onde começa a surgir o nível d'água. Neste momento, inicia-se a colocação do primeiro jogo de ponteiros filtrantes, as mesmas com um tamanho de 6,0 metros. As ponteiros são colocadas na largura do módulo de concretagem, cada módulo tem dimensão de 30,80m por 9,0m. Em cada módulo constam 14 lamelas (paredes diafragmas cada com 2,20m), com uma equidistância de 1,0m entre as ponteiros de drenagem, as mesmas são colocadas perpendiculares à extensão do módulo. O primeiro conjunto de ponteiros, com 08 ponteiros (9,0m de largura do módulo), possui tamanho de 6,0m (seis metros) e foram colocadas no início do módulo, ainda em solo. Depois de

instaladas, as mesmas trabalham 8 horas, a fim de iniciar o rebaixamento, até uma profundidade superior aos 4,5m, para a continuação dos trabalhos de escavação.



Parte da escavação é parcializada, principalmente onde a área encontra-se intensamente urbanizada, sendo executada em cada 2 lamelas por módulo, ou seja, a cada 4,40m. Em outras áreas onde não existe construções próximas as instalação das paredes diafragmas é feita uma escavação por módulo, chegando-se a profundidade requerida pelo projeto de 4,5m, para a execução da laje superior do túnel do Trem Metropolitano de Fortaleza.



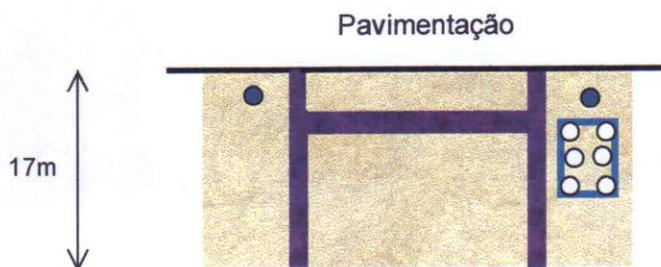
Foto 13: Colocação de conjunto de ponteiros no trecho subterrâneo.

Na escavação parcelada, como informado anteriormente, a medida que se avança à escavação, após 8 lamelas, ou cerca de 22,0m, existe a necessidade da instalação de um outro jogo de ponteiras, haja vista, a surgência de água. Esse novo conjunto de ponteiras filtrantes é imediatamente colocado, a fim de ser liberada o trecho para a concretagem da laje. Liberado o trecho, para o início da concretagem da laje, retira-se o segundo jogo de ponteiras. O 1º jogo de ponteiras drenantes não é retirado, pois está contendo a água do solo no início da escavação.

Quando o 2º jogo quando é liberado, o mesmo é colocado à 22m do módulo que acaba de ser concretado, dando continuidade ao rebaixamento a fim de se iniciar a escavação do próximo módulo. Esse procedimento é realizado até o final de todos os módulos envolvidos no trecho subterrâneo do Trem Metropolitano de Fortaleza. A vazão média do conjunto de ponteiras atualmente é de cerca de 200 l/h. Após o funcionamento de 60 dias (4 módulos de laje) e a retirada do último conjunto de Ponteiras o N.A. retorna ao nível inicial com 07 dias.

5º ETAPA:

Esta Etapa é desenvolvida com o reaterro da escavação, depois de concluída a laje superior, aqui denominada laje de teto. Com a escavação de todos os módulos, inicia-se a impermeabilização, e em seguida o reaterro, liberando o trecho para o tráfego. A reurbanização da área é executada somente a pavimentação e passeios. Não são ainda executados o reflorestamento e arborização. Neste momento também se retira o 1º jogo de ponteiras. No final de todo o reaterro, retira-se o último conjunto de ponteiras.



6º ETAPA:

Esta etapa é a considerada escavação invertida, onde através de pontos pré-estabelecidos no trecho subterrâneo se deixa locais para a entrada de máquinas como escavadeira e caminhões a fim de realizar a escavação por baixo da laje de teto, até a cota final, ou seja, até a laje de fundo.

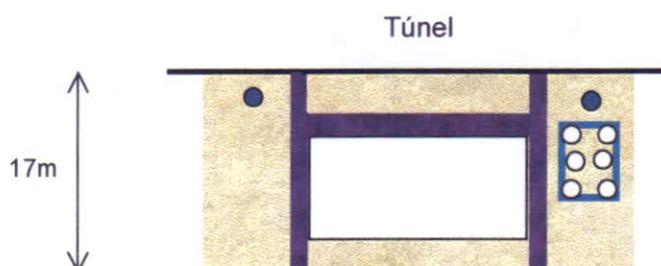
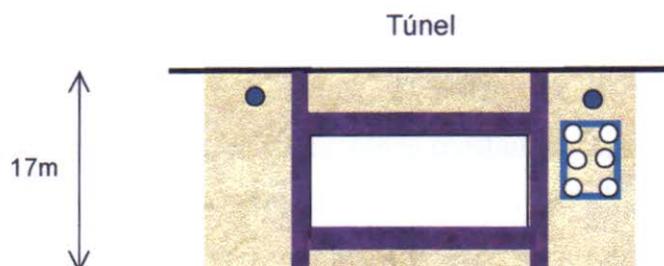


Foto 14: Escavação realizada no trecho subterrâneo.

7º ETAPA:

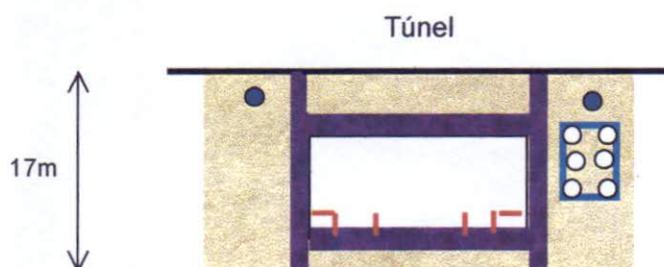
Esta etapa se concentra basicamente na concretagem da laje inferior, ou laje de fundo.



8º ETAPA:

Sendo esta a última etapa de construção do túnel para o trecho subterrâneo, onde são instalados os trilhos (via permanente) e as passarelas de emergência.

Nesta Etapa, nesse trecho, na superfície são feitas outras obras de arborização e jardinagem dos passeios e das áreas entorno das estações metroviárias.



Na escavação inversa, foram locados 02 "Shaft", podendo, caso necessário, locar mais um, ou seja, pontos de apoio à escavação inversa. Nestes locais são descidos para a operação de escavação a retroescavadeira e o caminhão com capacidade basculante de armazenar 6 m³.

O processo se faz com a escavação, desmonte do sedimento, colocação desse sedimento na caçamba do caminhão, transporte até o "Shaft", retirada do túnel, colocação em outro caminhão na superfície e o transporte para a área de bota-fora. Atualmente são retiradas cerca de 59.400 m³ de sedimentos provenientes das escavações, com 2,8 Km de túnel executado. Esses sedimentos após seleção são colocados em aterros escolhidos pela Prefeitura Municipal de Fortaleza, com o objetivo de promover a reabilitação urbana de áreas degradadas.

Outras saídas do túnel vão ser usadas para essa operação, como no caso das estações subterrâneas de passageiros, que estão sendo construídas normalmente da base para o topo, ou seja, Em primeiro lugar são colocadas as paredes diafragmas, para dar sustento a uma escavação. Em uma segunda etapa se faz a escavação até a base da estação, continuando a construção até a concretagem do topo, para depois a área ser urbanizada em superfície.

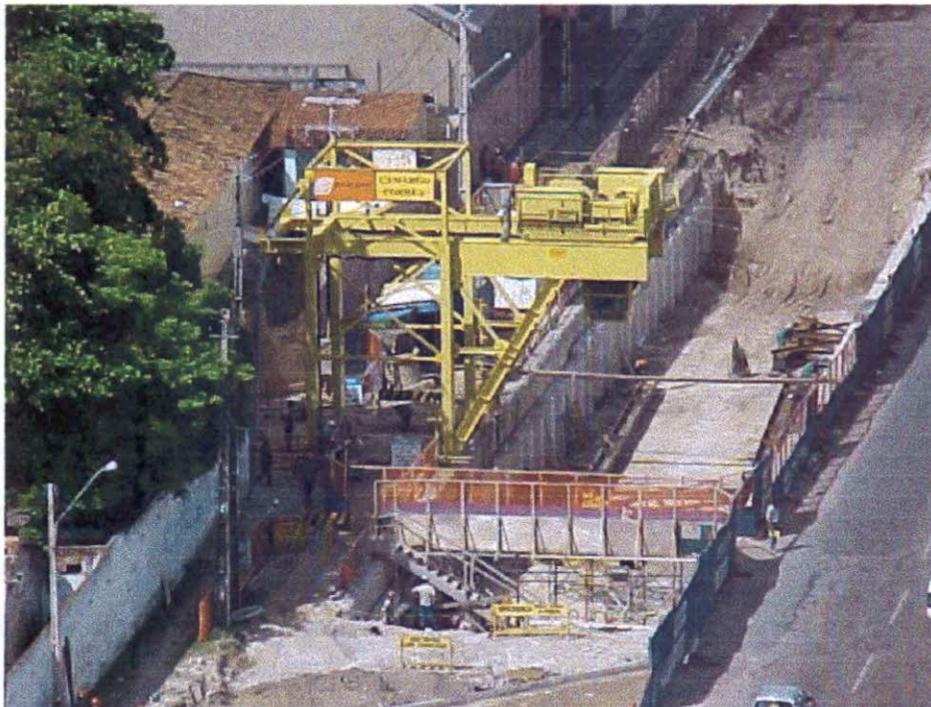


Foto 15: Vista geral do shaft localizado na Av. José Bastos.

Durante o processo de escavação do trecho subterrâneo, constatou-se em 2 pontos distintos, poluição do aquífero superior por óleos e graxas e hidrocarbonetos, originários de 02 postos de gasolina localizados na Av. 13 de Maio com Carapinima e na rua Carapinima com Senador

Catunda. Essa constatação se deu através de análise físico-química das águas superficiais, que indicavam uma fase oleosa quando a mesma era captada.

Com essa constatação e identificação das fontes poluidoras, optou-se por comunicar aos responsáveis, no caso, as distribuidoras de produto derivado de petróleo, para que as mesmas tomassem as providências necessárias para conter o processo de poluição do lençol freático e remediação da pluma de contaminação.

As distribuidoras realizaram trabalhos corretivos nas áreas afetadas, primeiramente com a detectando os vazamentos, a fim de sanar os processos decorrentes da poluição, e em seguida procederam a mudança dos tanques de armazenamento de produtos derivado do petróleo e sistema interno de distribuição. Os trabalhos desenvolvidos para a remediação da pluma de contaminação não foram disponibilizado pelas distribuidoras.

5.2.3 ANÁLISE DE DEFORMAÇÕES NAS ESCAVAÇÕES

A execução de escavações e galerias subterrâneas para a implantação de trens metropolitanos, em áreas com presença importante de edificações ou de obras de infraestrutura urbana, envolve uma grande complexidade de soluções que constituem um importante desafio para a engenharia geotécnica e geológica. Tal complexidade exige um conhecimento abrangente das características dos materiais predominantes na massa de solo ou rocha, além de uma percepção clara dos procedimentos construtivos que serão adotados na fase de implantação onde foi empregado o método "cut-and-cover". O trabalho intitulado Análise de Deformações durante as Escavações para a Construção do Trem Metropolitano de Fortaleza (Souza *et. al*, 2001) apresentaram simulações numéricas efetuadas durante a fase de implantação deste empreendimento, utilizando-se o método dos elementos finitos (MEF),

associado a um modelo constitutivo elasto-plástico denominado "Hardening Soil Model" e comparações entre os resultados obtidos nas referidas simulações e a magnitude das deformações observadas em campo (induzidas pelas escavações executadas), bem como resultados de instrumentação, de ensaios de laboratório, e uma avaliação dos parâmetros geotécnicos do solo predominante na área de influência do projeto. Com base nestes parâmetros analisados realizamos ensaios a fim de indicar o grau de deformação associado ao rebaixamento do lençol freático na região onde está sendo implantado o trecho subterrâneo do Trem Metropolitano de Fortaleza.

Com o objetivo de se proceder às simulações numéricas do processo construtivo descrito, foi desenvolvido um plano de investigações de campo e de laboratório que permitiu a obtenção dos parâmetros geotécnicos do solo em estudo, abrangendo a realização de sondagens SPT, a coleta de amostras da camada de areia siltosa, a execução de ensaios de permeabilidade e de densidade *in situ*, ensaios de cisalhamento direto, triaxiais, oedométricos, de caracterização, e a determinação dos índices de vazios máximo e mínimo (Souza *et al.*, 2001).

Para a aferição do processo construtivo, foi implementado um programa de instrumentação de campo, que consistiu na instalação de pinos de recalque em edificações, placas de recalque, tassômetros, piezômetros e "bench-marks", apresentando os resultados disponíveis sobre o monitoramento das escavações do metrô de Fortaleza. As informações aqui apresentadas referem-se à fase de construção da laje de cobertura do túnel, em áreas onde o projeto executivo não exigiu, em virtude de uma profundidade relativamente pequena da escavação, a execução de escoramento da parede-diafragma em quase a totalidade do trecho subterrâneo.

5.2.3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA EM CONSTRUÇÃO

O centro histórico de Fortaleza está assente sobre uma área de deposição sedimentar constituída, basicamente, por uma espessa e heterogênea camada de areia fofa a

medianamente compacta, fina e um pouco siltosa (com cerca de 14 a 15 metros de profundidade), sobrejacente a um estrato argilo-arenoso de consistência rija. O nível freático é normalmente encontrado, na área de influência do projeto, entre 1,5 e 4 metros de profundidade.

A Figura 13 apresenta o perfil geotécnico típico da área de implantação do trecho subterrâneo do METROFOR, onde foram realizadas investigações de campo e de laboratório (anteriores ao início das escavações), bem como o monitoramento de deslocamentos na parede-diafragma e no terreno adjacente durante o período construtivo, através de instrumentação.

O trecho subterrâneo caracteriza-se por apresentar, à sua margem, uma presença predominante de edificações velhas e de pequeno porte. A distância das edificações existentes ao longo da margem do traçado da via à área da escavação varia de cerca de 0,5 m a 10 m, o que exigiu, além do monitoramento das deformações no terreno, a realização de um controle de recalques em pilares de 52 edificações consideradas de maior porte.

Durante a fase construtiva, desde a construção da parede-diafragma até a execução da laje de cobertura, foi freqüente a ocorrência de grandes deformações no terreno adjacente às escavações (Foto 16), causando danos em edificações vizinhas à obra, sendo os casos mais graves em residências antigas e de péssimo estado de conservação. Em certas situações, foi necessária a intervenção em algumas edificações, materializada em campo através da adoção de medidas preventivas ou corretivas que envolveram a desocupação do imóvel, escoramento de elementos da estrutura, demolições localizadas, etc (Foto 18).

Através da análise das sondagens na área, executadas próximo a Av. 13 de Maio com Av. Carapinima, na fase de implantação das paredes diafragmas, podemos sugerir nova interpretação das mesmas, o que foi confirmado com a escavação para estas paredes.

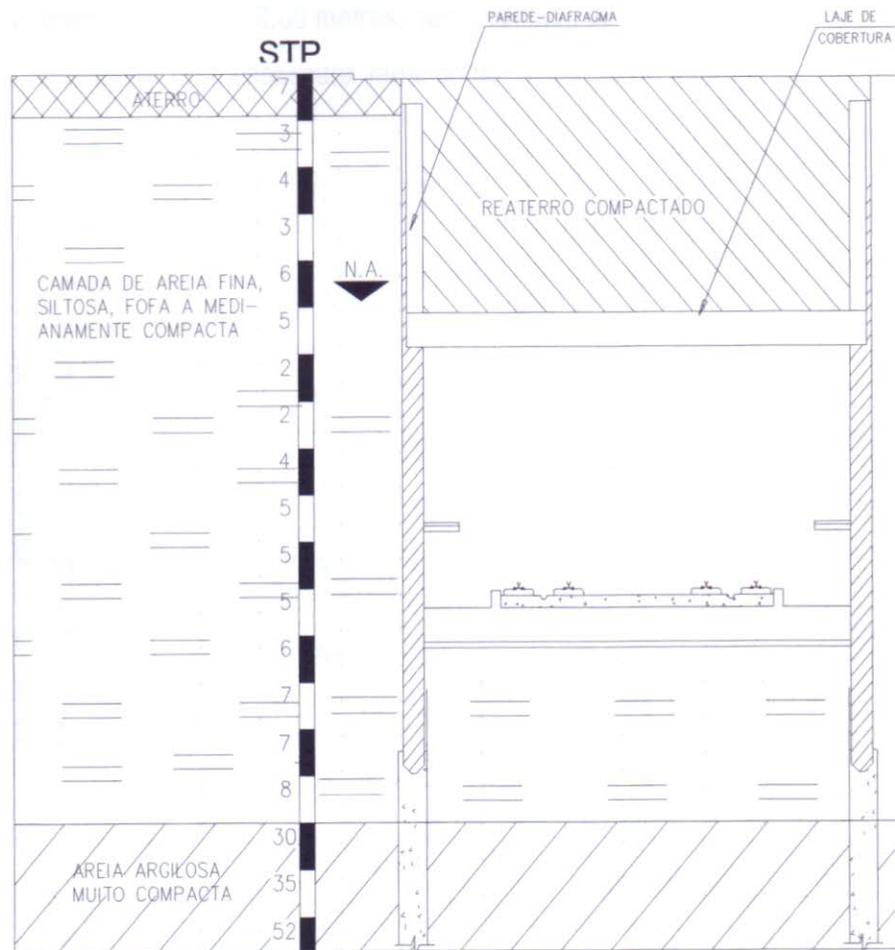


Figura 13: Seção transversal típica.

Nesta área, a uma profundidade média de 14,00 metros, utilizou-se um trepano, uma vez que o Clan Shel, não conseguia escavar, devido a dureza do material. O perfil observado na sondagem, durante a fase de projeto, considerava esta área um pacote sedimentar, com diferentes fácies, iniciado por um aterro de solo homogêneo e isotrópico até 2,00 metros, seguido por areia fina e média siltosa, em média com 10,00 metros de espessura, com presença do nível freático a uma profundidade média de 2,50 metros, seguido de uma areia fina e média pouco argilosa, que varia de 2,00 a 4,00 metros de espessura, e a partir daí, a uma profundidade média de 12,00 metros surge uma camada de argila arenosa, com

espessura variando de 2,00 a 8,00 metros, que é seguida de areia média e grossa argilosa, até o final das sondagens, com espessura variando de 10,00 a 8,00 metros.

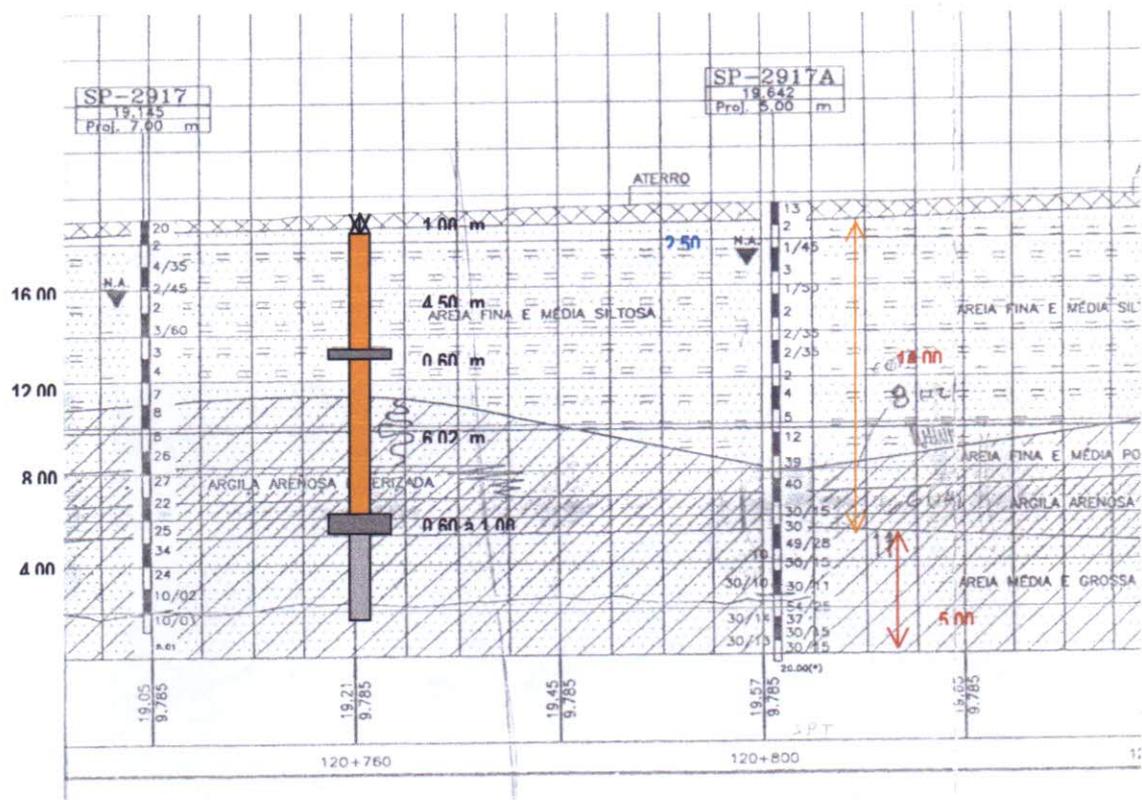


Figura 14: Sondagens executadas na Av. Carapinima, próximo à Av 13 de Maio.

Como se observa, pelos perfis de sondagem apresentados na figura 14, não ocorreu uma interpretação geológica suficiente à caracterização das litologias atravessadas, uma vez que, não foi identificado o manto de alteração do embasamento cristalino. Logo, não foram devidamente diferenciadas entre si, as camadas sedimentares e o embasamento cristalino alterado, o qual, durante a execução das obras, ficou comprovado através da observação direta do material de escavação das paredes diafragmas.

Portanto sugerimos, que o manto de alteração coincide com as camadas de argila arenosa e areia média e grossa argilosa descritas, que apresentam SPT (Stander Penetration Test) acima de 30. Outra camada com STP acima de trinta, de acordo com os perfis, descrita como

argila arenosa laterizada, pode ser correlacionada como a camada basal da Formação Barreiras, já observada em outros locais, como nas minerações de saibro localizadas na Região Metropolitana de Fortaleza.

De acordo com os autores Boscardin & Cording (1989), Burland & Wroth (1974), Hachich *et al.* (1996), citados no trabalho de Souza *et al.* 2001, tais danos estão diretamente associados ao tipo e condição da edificação, ao perfil natural do terreno de fundação, às propriedades geotécnicas dos solos na área em estudo, e, obviamente, à magnitude dos deslocamentos verticais e horizontais no terreno adjacente (induzidos pelas escavações executadas).



Foto 16: Deformações no terreno adjacente às escavações para a execução da laje de cobertura, na Av. Imperador.

É importante ser ressaltado que, após a fase de concretagem e reaterro da laje de cobertura, foi normalmente observada uma estabilização dos movimentos do terreno adjacente à obra, detectada por intermédio de inspeções nas edificações e pela interpretação de resultados de leitura de seções de instrumentação. Após esta etapa construtiva, foram verificados, até o momento, somente alguns casos isolados de erosão regressiva em áreas externas e vizinhas

ao trecho subterrâneo, causado pela ocorrência de alguns vazamentos no interior do túnel durante a escavação sob a laje de cobertura (Foto 17).

Desta forma, em virtude dos problemas observados na fase inicial de desenvolvimento das escavações, acima descritos, foi implantados o programa de instrumentação e de investigações de campo, com o objetivo de se aferir o método construtivo empregado e de melhorar as condições de segurança das edificações no centro de Fortaleza. Os trabalhos de instrumentação de campo desenvolvidos durante a implantação do trecho subterrâneo envolveram, as seguintes fases:



Foto 17: Escavação sob a laje de cobertura, localizado na Av. Carapinima.

- instrumentação da construção da parede-diafragma pré-moldada, através da realização de medidas de deslocamento vertical no terreno adjacente à obra;

- instrumentação das escavações para a execução da laje de cobertura do túnel, através da realização de medidas recalque no terreno e nas edificações, e do controle dos deslocamentos horizontais do topo da parede-diafragma (Figura 15);
- instrumentação das escavações para a construção da laje de fundo do túnel (resultados ainda não disponíveis para este trabalho).

Quanto às investigações de campo associadas à fase de projeto, estas abrangeram a realização de sondagens SPT, ensaios de permeabilidade e de densidade seca *in situ*, e a coleta de amostras da camada de areia fina siltosa (retiradas a 2 m de profundidade). A Tabela 5 mostra um resumo dos resultados dos ensaios de campo realizados na camada arenosa que predomina no trecho subterrâneo.



Foto 18: Danos em pequenas edificações.

Material	w (%)	γ_s (kN/m ³)	k (m/s)
Areia siltosa	4,50-4,80	16,36-16,71	1,73 x 10 ⁻⁴
Areia argilosa	-	-	2,07 x 10 ⁻⁵

Tabela 05: Tabela com os resultados de ensaios *in situ*.

A Figura 17 mostra um resumo dos resultados obtidos durante a instrumentação de campo realizada durante a construção da parede-diafragma, desde o início da escavação da “*slurry-trench*” até o lançamento da peça pré-moldada. O gráfico ainda mostra, para efeito de comparação, uma envoltória de deslocamentos verticais apresentada por Clough & O'Rourke (1990). Pela observação da figura é possível se constatar que, de um modo geral, os deslocamentos obtidos na instrumentação de Fortaleza são de pequena magnitude e semelhantes aos sugeridos pelos autores citados.

É importante ressaltar que, em algumas áreas com nível freático mais elevado ou com presença de tubulações antigas (enterradas em local próximo à parede-diafragma), ocorreram alguns problemas de instabilidade durante a escavação da trincheira para a execução da parede-diafragma. Nas áreas, onde não havia monitoramento de deslocamentos, os casos de instabilidade foram normalmente gerados por fuga de lama do interior da cava, através das tubulações antigas (verificadas através de sondagens no terreno), ou pela pequena diferença entre os níveis da lama bentonítica no topo da escavação e o do lençol freático na camada de areia fofa.

As investigações de laboratório realizadas sobre o solo da camada arenosa envolveram ensaios de cisalhamento direto, triaxiais, oedométricos e de caracterização. Os trabalhos foram inteiramente desenvolvidos no Laboratório de Geotécnica da PUC-Rio, onde foram

testados corpos de prova moldados em laboratório a partir de amostras deformadas coletadas no campo, a 2 metros de profundidade.

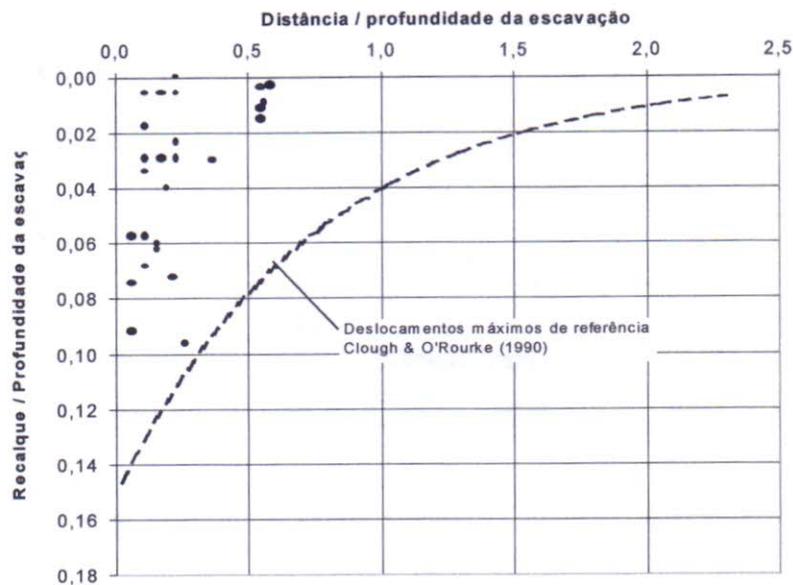


Figura 15: Recalques totais medidos no terreno adjacente após a construção da parede-diafragma.

O objetivo dos ensaios foi à determinação de parâmetros geotécnicos do material em estudo (ver curva granulométrica na Figura 16), com vistas à simulação do comportamento da parede-diafragma durante as escavações executadas. Com esta finalidade, foram obtidas dos ensaios triaxiais, oedométricos e de cisalhamento direto a partir de suas curvas tensão-deformação – as envoltórias de resistência da areia siltosa e os parâmetros de deformabilidade necessários à realização das análises.

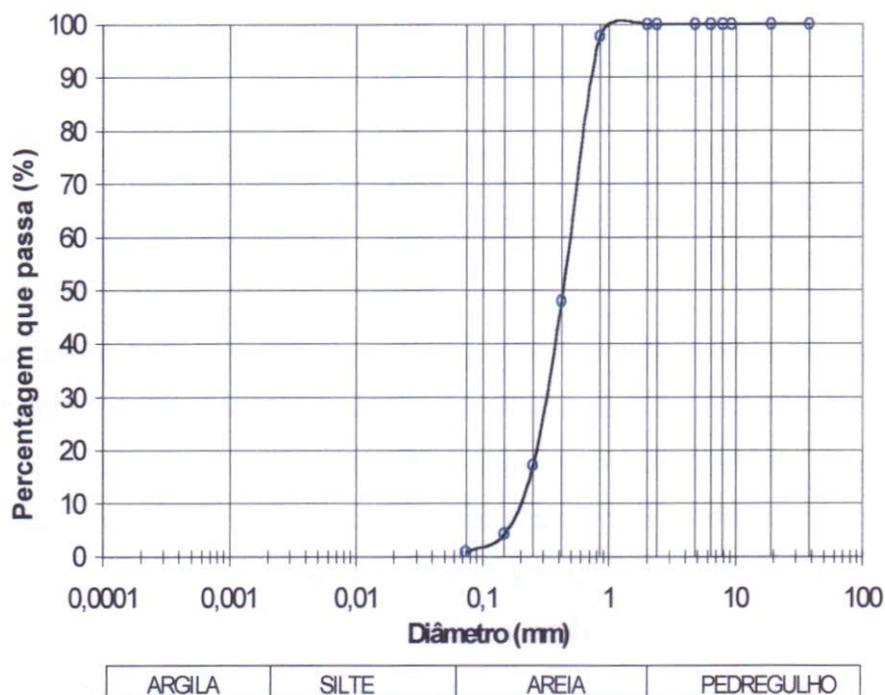


Figura 16. Curva granulométrica da amostra de areia coletada a 2 metros de profundidade.

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em corpos de prova consolidados sob diferentes níveis de tensão normal, sem submersão (teor de umidade natural). Os valores de tensão normal aplicado a cada série de amostras foram de 26,4 kpa, 50,0 kpa, 111,2 kpa e 205,4 kpa.

Os ensaios triaxiais (do tipo CID) foram realizados em corpos de prova cilíndricos moldados no interior de câmaras triaxiais e consolidados isotropicamente sob níveis de tensão confinante iguais a 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa. Durante a operação de moldagem das amostras, procurou-se reproduzir, o mais próximo possível da realidade, as densidades do solo em estudo medidas diretamente no campo. A velocidade de cisalhamento adotada nos ensaios triaxiais foi estabelecida com base na proposição de Gibson & Henkel (1954).

O Quadro 03 mostra um resumo dos parâmetros de resistência e de deformabilidade obtidos para a areia fofa siltosa a partir dos ensaios de laboratório realizados na PUC-Rio.

c'	ϕ'	E	μ_{50}	E_{oed}
(kPa)	(°)	(MPa)		(kPa)
0	30,4	8.72 - 14.95	0,32	5,94 kPa

Quadro 03: Parâmetros geotécnicos do solo arenoso.

Em uma simulação numérica utilizando o Método dos Elementos Finitos para a análise de tensões e deformações, é importante, o conhecimento adequado dos parâmetros dos materiais envolvidos no problema em estudo, bem como a geometria, as condições de campo e os procedimentos construtivos adotados na execução das obras de contenção associadas. Em muitos casos, a ocorrência de deslocamentos excessivos, não previstos em uma análise numérica, pode estar diretamente relacionada a problemas ocorridos durante a fase construtiva, não considerada no estudo em escritório.

A simulação apresentada no trabalho de Sousa *et al.*(2001), refere-se a áreas do trecho subterrâneo previamente instrumentado, onde os procedimentos construtivos definidos em projeto foram obedecidos pela equipe da empreiteira. Em outras áreas instrumentadas do trecho subterrâneo, sem edificações próximas às escavações, foram adotados procedimentos construtivos não preconizados em projeto, que seriam especialmente inadequados em locais com residências construídas nas proximidades da obra, devido à ocorrência de deslocamentos excessivos no terreno adjacente.

É importante ser ressaltado que, em virtude do fato de as escavações para a execução da laje de cobertura ter sido toda realizada na camada de areia siltosa, sendo a camada de material areno-argiloso encontrada somente em profundidades mais elevadas, foram adotados, para este material, os mesmos parâmetros associados à camada sobrejacente. Uma análise de sensibilidade efetuada no trabalho de Sousa *et al.* (2001) mostrou que os resultados das simulações não apresentaram variações significativas em decorrência de oscilações nos

parâmetros da argila arenosa. Desta forma, no que diz respeito a este material, a simplificação adotada não exerceu influência importante sobre os resultados deste trabalho.

Também pode ser visto na Figura 17, para fins de comparação, em um mesmo gráfico os recalques no terreno adjacente, previstos através da simulação numérica, e os dados reais obtidos por instrumentação de campo feita por Sousa *et al.* (2001). No gráfico citado, o eixo x mostra a distância do ponto instrumentado ao início das escavações, enquanto o eixo y mostra os deslocamentos verticais totais induzidos pela escavação executada (divididos pela profundidade total escavada). As informações constantes na Figura 17, embora mostrem uma considerável dispersão de resultados, sugerem que o deslocamento previsto por meio das investigações de laboratório associadas as simulações numéricas de campo foi compatíveis com a média dos deslocamentos reais medidos durante as escavações.

As dispersões registradas nos resultados da instrumentação estão associadas à variabilidade natural do terreno sedimentar do centro da Fortaleza e de eventuais alterações nas condições de carregamento da parede-diafragma em cada seção instrumentada.

Na Figura 18 são apresentados os deslocamentos horizontais do topo da parede-diafragma previstos pela análise numérica e os realmente registrados no campo, durante os trabalhos de escavação. A figura mostra, de modo similar à Figura 17, uma grande dispersão de resultados, também associada às condições do terreno e de carregamento particulares de cada caso, e uma similaridade entre deslocamentos previstos e a média geral dos deslocamentos observados em campo.

No que respeito às deformações no terreno geradas pela construção da parede-diafragma, a instrumentação registrou deslocamentos de pequena magnitude, atingindo valores de até 0,1% da profundidade da parede. Estes valores são compatíveis com os deslocamentos freqüentemente observados em obras similares. Entretanto, em algumas áreas sem instrumentação, foram observadas grandes deformações acidentais durante a construção da parede-diafragma, geradas, na maioria dos casos, por fuga de lama do interior da cava,

através das tubulações enterradas antigas, ou pela pequena diferença entre os níveis da lama bentonítica no topo da escavação e o do lençol freático na camada arenosa.

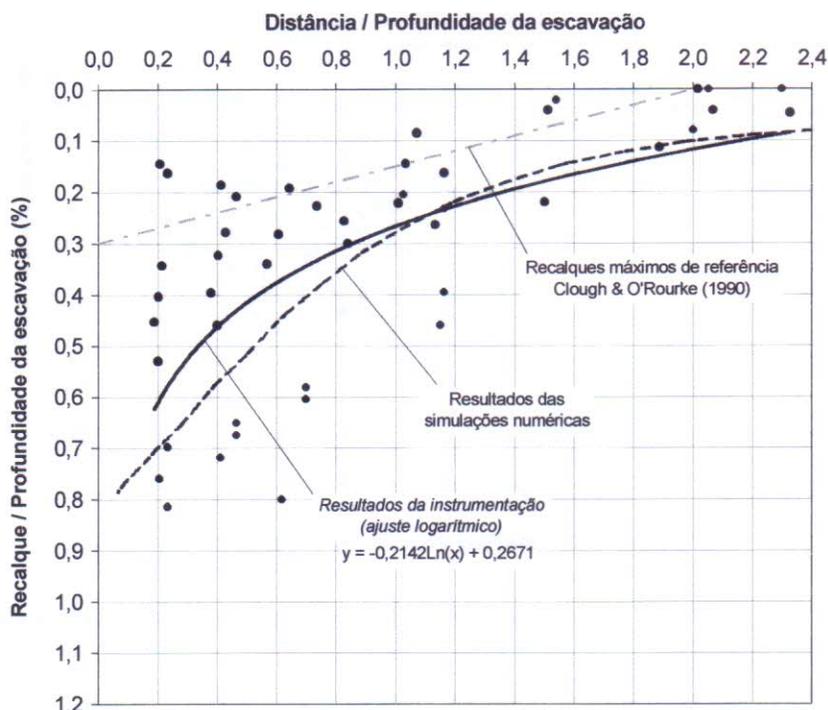


Figura 17. Comparação entre recalques previstos na simulação e os observados no campo.

Salienta-se que à medida que a profundidade aumenta nas escavações proporcionalmente aumenta o teor de silte e o conseqüente teor de umidade, registrado nos interstícios dos grãos.

Com relação à escavação analisada por Sousa *et al.* (2001) e, considerando-se a parede-diafragma já construída, a simulações numéricas mostraram, para a seção estudada, uma razoável correlação entre deslocamentos verticais e horizontais previstos e os deslocamentos médios observados em campo.

No caso dos deslocamentos horizontais máximos no topo da parede-diafragma, foram observadas, na maioria dos registros, deformações médias entre 0,5% e 0,6% da profundidade.

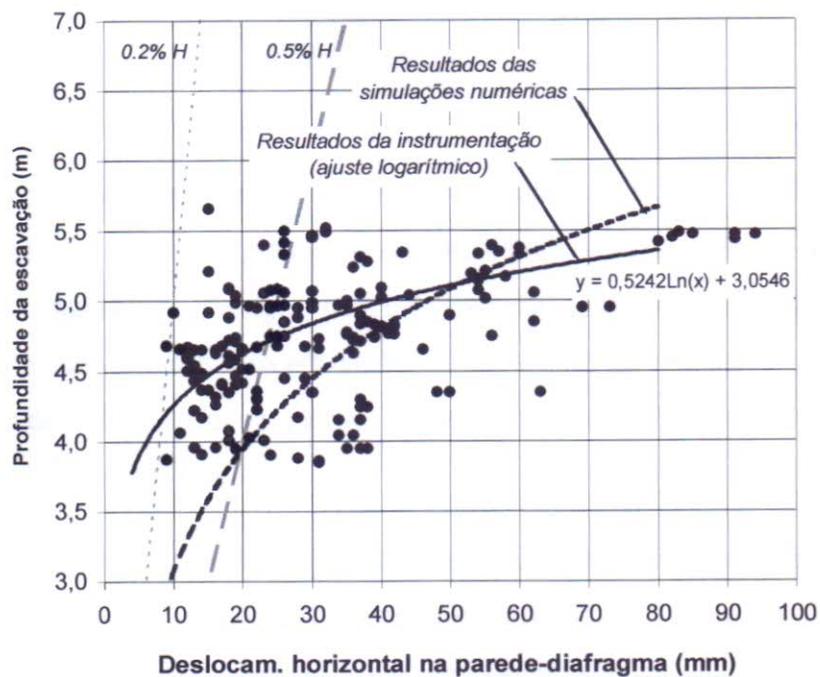


Figura 18: Deslocamentos horizontais previstos vs. observados no campo.

Com relação aos deslocamentos máximos verticais no terreno adjacente, foi observada uma deformação média de 0,34% da profundidade, com uma dispersão em torno de 0,2% (considerando-se as situações de grandes deslocamentos, já descritas, a dispersão chega até 0,8% da profundidade).

Comparando-se os resultados obtidos na instrumentação de campo com os sugeridos por Clough & O'Rourke (1990), chega-se à conclusão que os deslocamentos associados às escavações realizadas na areia fofa do centro de Fortaleza podem ser considerados excessivos, já que os autores citados mostraram, para solos arenosos, recalques no terreno adjacente e deslocamentos horizontais do topo da estrutura de contenção entre 0,2% e 0,3% da profundidade, com registros de dispersão chegando até 0,5%. Os danos eventualmente ocorridos em edificações próximas aos locais escavados estão associados à magnitude dos deslocamentos verticais e horizontais, bem como ao tipo e condição da edificação.

CONCLUSÕES

Nos trechos das bitolas superficiais do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR, todos os taludes dos aterros tiveram drenagem superficial artificial para as águas pluviais, com a construção de canaletas de drenagem para o escoamento das águas. Além disso, com projeto aplicado nos taludes, colocando-os em um ângulo de repouso mais adequado, de acordo com o tipo de sedimento, aliado ao plantio de vegetação por hidrossemeadura, facilitou a estabilização dos mesmos.

Nos trechos que, segundo o projeto foram necessários cortes, para adequação do "graid", realizaram-se drenagens superficiais, drenos profundos com a utilização de filtro de malha têxtil, conhecido como filtro bidin, manilhas porosas e brita, tendo objetivo de deixar a drenagem do exutório freático ao nível do corte, para o escoamento em sub-superfície, ou seja, um rebaixamento de lençol freático até o nível do dreno. Estes drenos evitam alagamentos e conseqüente saturação do solo, que pode determinar instabilidade dos taludes e seu desabamento.

As área de mineração, no caso as areias e saibro, utilizadas pelo Consórcio Construtor QGCC (Queiroz Galvão – Camargo Corrêa), estão sendo recuperadas através de projetos distintos para uma melhor destinação ao seu uso futuro, bem como, outras áreas interferidas como a do Pátio de Pré-moldados, utilizadas pelo Consórcio Construtor QGCC, através de projetos distintos para uma melhor destinação ao seu uso futuro.

Nos trabalhos de execução do trecho subterrâneo, constatou-se poluição do aquífero por hidrocarbonetos, óleos e graxas, sendo imediatamente comunicado às distribuidoras que realizaram trabalhos referente à minimização desta contaminação. Faz necessário que os órgãos ambientais exijam o cumprimento da Resolução CONAMA nº 273 de 29/11/2000 e a Lei Municipal nº 7.988 de 20/12/1996, que dispõem sobre a Licença para construção, realocação, funcionamento e segurança de postos de abastecimentos.

Nos trabalhos de rebaixamento do lençol freático, utilizou-se a técnica de rebaixamento por ponteiros filtrantes, para a construção do túnel do trecho subterrâneo, onde após a conclusão dos trabalhos de obra civil, o nível do lençol freático regulariza-se após 7 dias.

A vulnerabilidade dos aquíferos através de poluição ou agentes poluidores e os principais usos das águas superficiais e subterrâneas é um problema de maior relevância. Através dessa concepção tentamos elaborar, identificar e determinar a magnitude dos impactos causados por uma linha de trens urbanos sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, principalmente referente às interações com fluxos fluviais (rios e riachos) e a interação com a drenagem pluvial, nos trechos superficiais; sua interação com as águas subterrâneas, bem como a influência do metro nas águas e das águas na construção do metro;

Na terraplanagem, em cortes e aterros exigidos, foram realizadas as manutenções corretivas das áreas que necessitavam de recuperação de taludes e drenagem. Com a utilização, por exemplo, de hidrossemeadura, com um total de 160.000 m² executada, além do plantio de 1.300 mudas de vegetação nativa.

Na Linha de Carga, na área utilizada do Açude de Caucaia, foi realizado um trabalho para a recuperação das margens e da qualidade das águas deste reservatório superficial.

Entre os benefícios, que a obra trará para a população metropolitana de Fortaleza, podemos citar:

Integração plena com outros meios de transporte urbano.

Pontualidade e rapidez com a redução do tempo de viagem.

Maior conforto, segurança e qualidade dos serviços prestados à população.

O atendimento a uma região que concentra 2/3 da demanda de transporte público de passageiros de Fortaleza e Região Metropolitana.

Retirada dos trens de carga do centro da cidade, possibilitando a reestruturação e a requalificação urbanística de toda área central.

Interligação entre o Distrito Industrial de Maracanaú, os pólos industriais de Caucaia, Maranguape e Acarape, os bairros dormitórios e os pólos turísticos e de comércio atacadista.

Criação de empregos diretos e indiretos durante e após a conclusão da obra.

O centro de Fortaleza, onde é reunido o maior patrimônio cultural do Ceará, com prédios de inestimável valor histórico, monumentos e áreas que fazem parte da cultura cearense, enfrenta grandes problemas, como, urbanísticos, de tráfego e superlotação. Com a implantação do METROFOR, a saída da linha férrea do centro da cidade e a liberação de algumas áreas que hoje são ocupadas por terminais de transportes, o tráfego tornará mais livre. Isso proporcionará uma requalificação nas áreas de habitação e serviços. A atual estação João Felipe será resgatada para a população e o centro vai ganhar abertura direta para o mar, com novo equipamento de lazer e cultura.

Será viabilizada a formação de um grande corredor cultural da estação João Felipe até o Centro Cultural Dragão do Mar. O projeto envolverá a participação de toda a sociedade. Tudo isto atrairá projetos urbanísticos, imobiliários, turísticos e culturais para a região, melhorando a qualidade de vida dos fortalezenses.

Pode-se concluir que a realização de um programa simples de investigações de campo e laboratório, envolvendo ensaios de laboratório e instrumentação de campo, junto a análise inter-disciplinares, permite que seja efetuada uma previsão do comportamento geral da obra e do terreno adjacente durante os trabalhos de escavação. Estas previsões estarão tanto mais próximas da realidade quanto mais detalhadas estiverem as investigações realizadas, de modo a proporcionar uma maior representatividade das amostras coletadas e dos ensaios realizados em relação às condições reais de campo.

Outro ponto básico deste estudo refere-se a comparação entre a construção do METROFOR e outras obras de grande porte, tais como o porto do Pecém ou do Açude Castanhão, que vêm gerando um elevado nível de críticas associadas principalmente aos impactos ambientais não previstos nos Estudos de Impacto Ambiental anteriormente realizados.

A maior parte dos impactos ambientais pode ser previsto nestes estudos, identificados em função da experiência da equipe técnica ou baseada em projetos semelhantes, cujo caráter, somente são realmente confirmados durante a execução da obra em questão. No caso do METROFOR os estudos anteriores concentram-se nos temas relacionados com as interações desta obra sobre principalmente o meio antrópico, deixando a desejar em relação ao meio biótico e abiótico, principalmente sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos da RMF, os quais durante a obra, foram minimizados pelo compromisso das empresas construtoras do Trem Metropolitano de Fortaleza, que atenderam solicitações posteriores de técnicos das Universidades e de órgãos públicos diretamente envolvido na liberação da obra, demonstrando mais uma vez, que projetos dessa intensidade deveria ser desenvolvido por equipe multidisciplinar e intradisciplinar evitando falhas de conceito e projeto.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, J.M.B. & Rapelli, C.A. **A variabilidade pluviométrica do setor norte do nordeste e o evento El Niño (ENSO)**. Revista Brasileira de Meteorologia, 1992.V.7(2): 583-592 p.

AZEVEDO, P.V. **Previsão estatística das chuvas de outono no estado do Ceará**. Revista Brasileira de Meteorologia, 1998. V.13(1): 9-18 p.

BIANCHI, L.; et. al. **Recursos de água subterrânea na R.M.F:** plano de aproveitamento dos recursos hídricos na R.M.F. Fortaleza: AUMEF, 1984. 30 p.

BRAGA, A. de P. G.; et. al. **Projeto Fortaleza**. Recife: DNPM/CPRM, 1977. v.1. (Relatório Final)

BARROS, Jorge G. do Cravo. **As Ações do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) no controle da poluição na mineração**. Anais do Workshop Internacional sobre recuperação de recursos naturais degradados pela mineração. Brasília: IBAMA, 1995, p 35–37

BARROS, Jorge G. do Cravo. **As Ações do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) no controle da poluição na mineração**. Anais do Workshop Internacional sobre recuperação de recursos naturais degradados pela mineração. Brasília: IBAMA, 1995, p 35 -37

BELTRÃO, A. E. de A. & MANOEL FILHO, J. **Abastecimento de água da área metropolitana da cidade de Fortaleza – CE**. Recife. SUDENE, Divisão de Documentação, 1973. 296 p.; mapas, tab.

BERTALANFFY, Ludwing Von. **O significado da teoria geral dos sistemas**. In: **Teoria geral dos sistemas**. 2 ed. Petrópolis : Vozes,1975, 53 - 81

BERTRAND, G. "Paisagem e Geografia Física Global". São Paulo: Caderno de ciências da Terra (13), USP, 1971, 26 p.

BEZERRA, Eliseu C., Bezerra, Joaquim E., Mendes, Maria de F. In : **Atlas do Ceará**. p. 18 - 19. Fortaleza: Iplance . 1989.

_____. In: **Atlas do Ceará**. p. 20 - 21. Fortaleza: Iplance . 1989.

BRANDÃO, R. de L. **Sistema de informação para gestão e administração territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR**: mapa geológico da Região Metropolitana de Fortaleza: C.P.R.M., 1994. 34p. il. Texto Explicativo.

BRANDÃO, R. de L. ;CAVALCANTE, I. N.; SOUSA, M.N. – **Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR**. Fortaleza: CPRM. 1995. 105 p.

BANDRÃO, R. de L. – **Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR**. Fortaleza: CPRM. 1995. 34 p.

BANDRÃO, R. de L. – **Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR**. Fortaleza: CPRM. REFO. Texto Explicativo. 1995.

BRASIL, Ministério das Minas e Energias. **Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará** - Serviço Geológico do Brasil. CPRM. 1999. CD-ROM

BEZERRA, Eliseu C., Bezerra, Joaquim E., Mendes, Maria de F. In : **Atlas do Ceará**. p. 18 - 19. Fortaleza: Iplance . 1989.

Boscardin, M.D. & Cording, E.J. **Building response to excavation induced Settlement**. In **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, Vol. 115, 1989. pp. 1-21.

BRINKGREVE, R.B.J. et al., **Finite element code for soil and rock analysis**. Netherlands: A.A. Balkema, Rotterdam, 1998.

BRITO NEVES, B. B. de. **O Ciclo Brasileiro no Nordeste**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 10, 1981, Recife. **Atlas do...** Recife: SBG, 1981.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia/Secretaria Geral – **PROJETO RADAMBRASIL: Folha SA.24 – Fortaleza, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra.** Rio de Janeiro: MME, 1981, Vol. 21. 479 p., il. mapas.

Burland, J.B. & Wroth, C.P. **Settlement of buildings and associated damage.** In: PROCEEDING OF CONFERENCE ON SETTLEMENT OF STRUCTURES, PENTECH PRESS, London, U.K., pp. 611-654. , 1974

CAMPOS, L. A. S. & MENEZES, M. A. S. – **Pesquisa e aproveitamento de água subterrânea para abastecimento urbano nas dunas costeiras do Ceará.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2., Salvador, 1982. Anais. Salvador: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, p. 29-42, tabs.

CASTRO, J. W. A. **Geomorfologia do sistema sedimentar eólico de Paracuru - Ceará.** 2001. 202 f. (Tese de Doutorado em Geomorfologia) PPGG – UFRJ. Rio de Janeiro.

CARNEIRO FILHO, A. **Impacto da mineração e proposta de reabilitação de áreas degradadas na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Geografia da Universidade Estadual do Ceará Centro de Ciências e Tecnologia, Fortaleza. 1999.

Clough, G. W. & O'Rourke, T. D., 1990. **Construction induced movements of in situ walls.** In: DESIGN AND PERFORMANCE OF EARTH RETAINING STRUCTURES. Ed. Lambe, P. C. and Hansen, L. A. Geotechnical Special Publication 25, ASCE, pp. 439-470.

BRASIL, Ministério das Minas e Energias. **Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará - Serviço Geológico do Brasil.** CPRM. 1999. CD-ROM

CEARÁ, METROFOR, 2000, **Procedimento para uso de Ponteiras Filtrantes**, s.n.t. (circulação interna), 2001.

Gurgel, G.A.S – Análise Geoambiental Associada à Implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza

CEARÁ, Secretaria de Planejamento e Coordenação / SUDEC. **Programa de avaliação do potencial dos recursos naturais em áreas do litoral cearense**. Fortaleza: SUDEC, 1976, 209 p.

_____, Secretaria de Recursos Hídricos - SRH. **Plano estadual de recursos hídricos**. Fortaleza: SRH, 1991.

CHIOSSI, Nivaldo José. **Métodos de rebaixamento do nível d'água usados nos túneis e estações do metro de São Paulo** – 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DA ASSOCIAÇÃO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1974, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: USP, 1975.

_____, **Geologia aplicada à engenharia**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Grêmio Politécnico – DLP, São Paulo: USP, 1975.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise de sistema em Geografia: introdução**. São Paulo: Hucitec. 1979, 106 p.

DNER. Ministério dos Transportes. **Relatório de impacto do meio ambiente referente ao 4º Anel Rodoviário de Fortaleza**: Trecho CE-004/ Ponte do Rio Cocó, SIRAC. Fortaleza: Serviços Integrados de Assessoria e Consultoria Ltda. 1984, 373 p.

D.N.P.M. – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – Ministério das Minas e Energia, Secretaria de Minas e Metalurgia. **Plano diretor de mineração para a Região Metropolitana de Fortaleza**, Brasília. D.N.P.M., 1998, 192 p. il; mapas.

DUCAN, J.M.; CHANG, C.Y. Nonlinear analysis of stress and strain in soil. **J. Soil Mech. Found.** USA, Div. ASCE 96, p. 1629 -1653, 1970.

FIGUEIREDO, Maria Angélica. In: **Atlas do Ceará**. p 24. Fortaleza: Iplance. 1989.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Áreas susceptíveis aos processos de degradação no Estado do Ceará – 2ª aproximação**. Fortaleza. **Anais do VII SBSR**. 1993.

Gurgel, G.A.S – Análise Geoambiental Associada à Implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza

FUNCEME/UFC/UFPI. Áreas degradadas susceptíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará – Brasil. Fortaleza. ICID. 1992.

Gibson, R.E. & Henkel, D.J.. **Influence of Duration of Tests at Constant Rate of Strain on Measured Drained Strength.** Em Geotechnique, , 1954 n° 04, 6-12.

GOMES, J. R. de C.; et. al. **Geologia In: Projeto RADAMBRASIL.** Folhas SB 24/25, Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro: 1981. v. 23. p. 27-176.

GOMES, M.R.B.; DOTE SÁ, T. – **Estudo de Viabilidade Ambiental – EVA para o trecho subterrâneo do Trem Metropolitano de Fortaleza.** Fortaleza: Companhia Cearense de Transportes Metropolitano – METROFOR/Geofísica Serviços Geológicos Ltda, 1998.

GURGEL JR., J. B. - **Diagnóstico das águas subterrâneas no município de Fortaleza.** Fortaleza: 1984, 100 p.

GURGEL JR, João B., Gurgel, Gustavo A. S. **Zoneamento Mineral/Ambiental da Região das Bacias Metropolitanas de Fortaleza.** Fortaleza: (no prelo - 1999).

Hachich et al.. **Fundações: Teoria e Prática.** Editora Pini, 1a. Edição, São Paulo, Brazil. 1996

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Anuário Estatístico do Brasil** : Rio de Janeiro, 1991.

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração X meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores.** Porto Alegre: Ed. Universidade / UFRGS, 2000, 103 p.

MOREIRA, F. Raimundo. **Análise geoambiental e o estado de degradação/desertificação dos recursos naturais do município de Tauá – Ceará.** 2001. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

MENESES, Júlio S. de. **Principais ocorrências minerais do Estado do Ceará**. Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial – NUTEC. Fortaleza: IOCE, 1982 .

METROFOR, **Procedimento para uso de Ponteiros Filtrantes** (interno), Fortaleza: METROFOR, 2000.

NASCIMENTO, D. A. do et al. **Geologia. Mapeamento Regional. In: Projeto RADAMBRASIL**. Folha S.A. 24 – Fortaleza: Rio de Janeiro, 1981. v. 21. p. 458-475.

RIBEIRO, Mauricio Andrês. **Mineração e meio ambiente: problemas e perspectivas**. Fund. João Pinheiro. , Belo Horizonte, v. 15, n.7/8, p.1 – 104, set./dez. 1985.

ROBERTO, F. A. da C. **Potencial mineral da Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. Fortaleza: D.N.P.M., 1994. 38 p.

SEMACE, **Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Estado do Ceará**. Fortaleza: (no prelo – 1998).

SEMACE, **Meio Ambiente Legislação básica (atualizada até fevereiro de 1990)**. Fortaleza. 1990.

SEPLAN. **Projeto Áridas: Grupo de trabalho 1, recursos naturais e meio ambiente**. Fortaleza: v. 1 e v. 2. 1994.

SILVA, V.P.R.; Marciel, G.F.; Rolando,P. & Guedes, F. **Análise do nível de significância entre o fenômeno El Niño e chuvas no nordeste do Brasil** In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA . 1998. Brasília-DF. 148p.

SOARES, Zilnice M. Lebre. **Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Mundaú – CE** . Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 1997.

Gurgel. G.A.S – Análise Geoambiental Associada à Implantação do Trem Metropolitano de Fortaleza

SOUZA, Marcos J. Nogueira de. **O Estado do Ceará: Geomorfologia, ambiente e problemas conservacionistas**. Fortaleza: MEC-UFC (tese para concurso de professor titular). 1983.

SOUZA, V. A. D. de; ARARUNA JR, J. T.;CAMPOS, T. M. P de. – **Análise de deformação durante as escavações para a construção do Trem Metropolitano de Fortaleza**. INFOGEO 2001 – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA APLICADA À GEOTÉCNICA. **Anais ...** Curitiba, 2001.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE. 97 p. (Supren). 1977.

TROPPEMAIR, Helmut. **Biogeografia e meio ambiente**. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, 259 p, 1995.

WAGNER, E. **A água e o meio ambiente**: Cartilha guia síntese para o uso racional dos recursos hídricos. Brasília: MMA, SRH, ABEAS. 1998. 55p.

VAREJÃO SILVA, M. A **Programa balanço hídrico**. Recife: UFRPE/FUNCEME, 1990.

VILLELLA, S.M.; et al. – **EIA/RIMA – Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental do sistema do trem metropolitano de Fortaleza**. Consórcio do Trem Metropolitano de Fortaleza – METROFOR / Aguasolos Consultoria de Engenharia Ltda., Fortaleza: 1988. 328p.

XAVIER, T.M. **Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica de quantis: 1964-1998**. Revista Brasileira de Meteorologia, 1998. V.14(2): 63-78 p.