

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

MARIANA DE SOUZA RUFINO

**Análise histórica progressiva e caracterização geotécnica de aterro
sobre solo mole executado com cinza pesada, localizado no
complexo termelétrico Jorge Lacerda,
Tubarão - SC**

**FLORIANÓPOLIS
2015**

MARIANA DE SOUZA RUFINO

**Análise histórica progressiva e caracterização geotécnica de aterro
sobre solo mole executado com cinza pesada, localizado no
Complexo Termelétric Jorge Lacerda,
Tubarão – SC**

Trabalho de conclusão de curso submetido
ao Departamento de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Orientador: Prof. Antônio Fortunato
Marcon, Dr.

FLORIANÓPOLIS
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rufino, Mariana Souza

Análise histórica progressiva e caracterização geotécnica de aterro sobre solo mole executado com cinza pesada, localizado no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, Tubarão - SC / Mariana Souza Rufino ; orientador, Antônio Fortunato Marcon - Florianópolis, SC, 2015.
254 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Solos moles. 3. Cinza de carvão mineral. 4. Aterro. 5. Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. I. Marcon, Antônio Fortunato. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

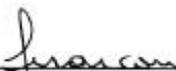
MARIANA DE SOUZA RUFINO

**ANÁLISE HISTÓRICA PROGRESSIVA E CARACTERIZAÇÃO
GEOTÉCNICA DE ATERRO SOBRE SOLO MOLE
EXECUTADO COM CINZA PESADA, LOCALIZADO NO
COMPLEXO TERMELÉTRICO JORGE LACERDA.
TUBARÃO – SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial
para a obtenção de título de Engenharia Civil ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 09 de abril de 2015.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Antônio Fortunato Marcon, Dr. - Orientador
Departamento de Engenharia Civil - UFSC



Prof. Marciano Maccarini, Dr.
Departamento de Engenharia Civil - UFSC



Prof. Murilo da Silva Espindola, Me.
Departamento de Geociências – UFSC

Aos meus pais, irmã e avó.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos proporcionadas em minha vida e por me guiar quando os caminhos pareciam confusos.

À minha família, pelo amor, motivação e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Prof. Antônio Fortunato Marcon, pela paciência, motivação e pelos valiosos ensinamentos a mim transmitidos.

A empresa Tractebel Energia em que tive oportunidade de estagiar, onde pude me aperfeiçoar profissionalmente, e que me forneceu os dados necessários para este trabalho.

Ao Eng. Cleuton Souza Pacheco, Eng. Murilo Raul Martins e Senhor Pedro Machado Albino, fiscal de obras, por toda a aprendizagem durante o estágio na empresa Tractebel Energia.

Aos amigos feitos durante o curso pelo companheirismo que irão além da sala de aula. Em especial, a Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem que não cessou em auxiliar e me motivar para a realização deste trabalho.

Às amigas que mesmo à distância sempre me apoiaram: Jéssica Lima, Sara Balbinot e Vanessa Gonçalves.

Ao Pedro Heusi Tagliari e Lucas Franco, bolsista do Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – ECV/USFC, que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca avaliadora, por aceitarem o convite para participar.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), por possibilitar a minha formação como Engenheira Civil.

Aos demais professores desta instituição pela transmissão de conhecimento contribuindo para a minha formação.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com o sucesso deste trabalho.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

O crescimento urbano nas últimas décadas, no Brasil, contribuiu para a redução da disponibilidade de solos competentes nas regiões de maior desenvolvimento econômico, levando a ocupação em solos de baixa capacidade de suporte. A ocorrência deste tipo de solo é comum no país, principalmente na costa e nas várzeas de rios no interior. Portanto, vê-se a necessidade de estudar o comportamento do aterro sobre solo mole, que requer métodos que solucione ou minimize os problemas de recalque e estabilidade. Desta forma, o trabalho pretende caracterizar um aterro localizado no município de Tubarão – SC. A peculiaridade do estudo é o tipo de material utilizado como corpo de aterro, utilizou-se a cinza pesada proveniente da queima do carvão do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. A análise da área inicia desde seu emprego como depósito de cinzas até a ocupação do espaço pelas usinas fotovoltaica e eólica. Em função destas obras foi realizada uma extensa investigação geotécnica para a caracterização do solo de fundação e da cinza pesada, o estudo irá avaliar estes ensaios. Os resultados apontam para a confirmação do solo de fundação de baixa capacidade, há indícios que o depósito de cinza contribuiu para o ganho de resistência da camada de argila subjacente a cinza. E por ser um resíduo do carvão, a cinza contém materiais pesados prejudiciais à saúde, portanto requer atenção no seu manejo. Por fim, os métodos empregados garantiram a resistência para considerar um solo adequado a algumas obras de engenharia.

PALAVRAS CHAVE: Solos moles, cinzas de carvão mineral, aterro, Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva granulométrica da cinza pesada, CTJL e Charqueadas	31
Figura 2 - Tipos de recalques	33
Figura 3 - Curva de compactação característica para quatro tipos de solos	38
Figura 4 - Gráfico de correção, adaptado da NBR 9895/1987	40
Figura 5 - Trépano de ensaio de SPT	42
Figura 6 - Aparelho do Ensaio de Dilatômetro	44
Figura 7 – Valores típicos entre as pressões de início da expansão da membrana (P_0) e do final da expansão (P_1).....	45
Figura 8 - Classificação dos solos, segundo Marchetti e Crapps (1981).....	47
Figura 9 - Curva tensão <i>versus</i> recalque de ensaio de placa areia.....	49
Figura 10 - Relação modelo <i>versus</i> protótipo.....	50
Figura 11 - Métodos construtivos de aterros.....	51
Figura 12 - Sequência executiva de substituição de solos moles	52
Figura 13 - Aterro Hidráulico do alargamento da Praia de Copacabana - RJ	55
Figura 14 - Mapa de localização do município de Tubarão	58
Figura 15 - Mapa geológico do município de Tubarão	61
Figura 16 - Mapa pedológico do município de Tubarão	62
Figura 17 - Mapa de localização da área de estudo.....	65
Figura 18 - Radiação solar no Brasil - média anual típica ($Wh/m^2.dia$)	70
Figura 19 - Fluxograma dos métodos utilizados	71
Figura 20 - Fotografias aéreas de 1957 e 1978.....	78
Figura 21 - Croqui de localidades de Capivari de Baixo.....	80
Figura 22 - Construção do Lavador Capivari.....	81
Figura 23 - CTJL início da década 70, bacia ao fundo.....	82
Figura 24 - UTLA em operação e canteiro da UTLB, no primeiro plano, e Antiga Bacia de deposição de cinzas em segundo plano.....	83
Figura 25 - UTLA - Unidades 1 e 2	84
Figura 26 - UTLA - Canteiro das Unidades 3 e 4	84
Figura 27 - Vista aérea do complexo.....	85
Figura 28 - Fotografias aéreas 2010 e 2014	86
Figura 29 - Croqui da Bacia de deposição de cinzas e datas de desativações.....	88
Figura 30 - Usina Fotovoltaica.....	89
Figura 31 - Localização dos aerogeradores	90
Figura 32 - Parque Ambiental Tractebel Energia.....	91
Figura 33 - Pontos de sondagens.....	92

Figura 34 - Perfis: GA - SP 06 e LO - SP 07, adaptado dos relatórios de sondagem da Geotécnica (1984) e Locks Sondagens (2012)	94
Figura 35 – Seções dos perfis estratigráficos	97
Figura 36 – Seção 01 dos perfis estratigráficos.....	98
Figura 37 – Seção 02 dos perfis estratigráficos.....	99
Figura 38 – Seção 03 dos perfis estratigráficos.....	100
Figura 39 - Execução dos ensaios	101
Figura 40 - Perfil de sondagem GC - SM 01.....	102
Figura 41 - Perfil de sondagem (GC SM01) e Resultados do Ensaio de Dilatômetro	104
Figura 42 - Análise Granulométrica da argila	108
Figura 43 - Análise Granulométrica da cinza.....	108
Figura 44 – Resultados do ensaio de Limites de Atterberg.....	109
Figura 45 - Limite de Liquidez	109
Figura 46 - Ensaio de compactação da argila.....	111
Figura 47 - Ensaio de compactação da cinza.....	112
Figura 48 - Ensaio de CBR	113
Figura 49 - Ensaio de placa	114
Figura 50 - Gráficos do ensaio de placa.....	115
Figura 51 - Croqui do aterro da Usina Solar Cidade Azul	118
Figura 52 - Usina Fotovoltaica Cidade Azul, em segundo plano o CTJL	118
Figura 53 - Painéis fotovoltaicos.....	119
Figura 54 - Guindaste utilizado para execução da torre da Usina Eólica	120
Figura 55 - Especificações do plano <i>rigging</i> do guindaste.....	121
Figura 56 - Seção transversal do solo na Torre 1 após a execução do aterro	122
Figura 57 - Execução da camada de saibro da plataforma do guindaste	123
Figura 58 - Execução da camada de brita da plataforma do guindaste	124
Figura 59 - Cravação de estacas	125
Figura 60 - Bloco de fundação em corte	126
Figura 61 - Sistema estaca-bloco de fundação em 3D	126
Figura 62 - Aerogerador em fase final de montagem.....	127
Figura 63 - Usina Fotovoltaica, vista da torre do aerogerador	127
Figura 64 - Perfis de sondagens	129
Figura 65 - Seção Hidrogeológica.....	130
Figura 66 – Cronologia da área de estudo	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos constituintes de cinzas pesadas do CTJL.....	30
Tabela 2 - Classificação do IP	36
Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Compactação de Cinzas Pesadas, Das (2011).....	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estado de compacidade e consistência dos solos, NBR 6484/2001.....	43
Quadro 2 - Ensaios Geotécnicos	73
Quadro 3 - Sondagens executadas.....	73
Quadro 4 – Perfis de sondagens da Figura 30.....	91
Quadro 5 - Resultado do Ensaio de Dilatômetro de Marchetti.....	103
Quadro 6 - Classificação do solo, utilizando I_d e E_d	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Abreviaturas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAEEB	Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CH	Usina de Charqueadas
COSIPA	Companhia Siderúrgica Paulista
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CTJL	Complexo Termelétrico Jorge Lacerda
FATMA	Fundação do Meio Ambiente
GA	Geotécnica – Geologia e Fundações
GC	Geotec Sondagens
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISC	Índice de Suporte Califórnia
IP	Índice de plasticidade
JB	J.B. Estaqueamentos
JL	Usina Jorge Lacerda
LL	Limite de liquidez
LO	Locks Sondagens
LP	Limite de plasticidade
N.A.	Nível d'água
Ni	Granito Imaruf-Capivarí
NPC	Grupo ValoRes do Núcleo de Pesquisas da Construção
OCR	Razão de pré-adensamento
P&D	Programa de Pesquisa e Desenvolvimento
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
QHfd	Depósitos Fluviodeltaico-Marinhos
QPb	Unidades Praiais Marinhas e Eólicos
SDS	Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Econômico do Estado de Santa Catarina
SEPLAN	Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina
SM	Sondagem mista
SP	Sondagem a percussão
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTLA	Unidade Termelétrica A do CTJL
UTLB	Unidade Termelétrica B do CTJL
UTLC	Unidade Termelétrica C do CTJL

UTPM Termelétrica de Presidente Médici
ZC-3 Zona Comercial 3 do Plano Diretor de Desenvolvimento Físico
 Territorial Urbano do município de Tubarão

Alfabeto Latino

A	leitura de pressão do ensaio dilatométrico
B	leitura de pressão do ensaio dilatométrico
B_p	base da placa
B_f	base da fundação
E	módulo de Young
Ed	módulo dilatométrico
h	teor de umidade
$h_{ót}$	teor de umidade ótima
Id	índice do material
K_0	empuxo no repouso
Kd	índice de tensão horizontal
N	índice de resistência à penetração do spt
P_0	correção da leitura a do dilatômetro
P_1	correção da leitura b do dilatômetro
r	raio do ponto de interesse
r_a	raio da área carregada
S_u	resistência de cisalhamento não drenada
u_0	pressão hidrostática

Alfabeto Grego

ΔA	primeira leitura de calibração do dilatômetro
ΔB	segunda leitura de calibração do dilatômetro
Δh	recalque por adensamento primário
Δh_i	recalque imediato
Δh_{sec}	recalque por compressão secundária
$\gamma_{smáx}$	peso específico seco máximo
Δ	deslocamento radial do centro da membrana do ensaio dilatométrico
v	coeficiente do Poisson
σ'_h	tensão horizontal efetiva
σ'_{v0}	pressão vertical efetiva
σ_r	tensão de ruptura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	OBJETIVO GERAL	25
1.1.1	Objetivos Especificos	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	27
2.1.1	Classificação dos solos pela origem	27
2.2	CINZAS DE CARVÃO MINERAL PULVERIZADO	28
2.2.1	Composição físico-química das cinzas	29
2.2.2	Aplicação das cinzas	31
2.3	TIPOS DE RECALQUE	32
2.3.1	Teoria de adensamento.....	33
2.4	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	34
2.4.1	Ensaios laboratoriais	34
2.4.2	Ensaios <i>in situ</i>	41
2.5	MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA ATERROS.....	50
2.5.1	Substituição de solos moles	52
2.5.2	Aterro sobre elementos de estacas.....	53
2.5.3	Aterro Hidráulico	53
3	ÁREA DE ESTUDO	57
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TUBARÃO – SC.....	57
3.1.1	Clima.....	57
3.1.2	Geologia	59
3.1.3	Pedologia	59
3.1.4	Vegetação.....	60
3.2	COMPLEXO TERMELETRICO JORGE LACERDA.....	63
3.2.1	Breve Histórico	63
3.2.2	Antiga Bacia de Cinzas do CTJL	64
3.2.3	Armazenamento das cinzas no CTJL	67

3.3 CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA DE ACORDO COM A FONTE ENERGÉTICA	68
3.3.1 Energia Solar	69
3.3.2 Energia Eólica	69
3.3.2 Energia a carvão	70
4 MÉTODOS E MATERIAIS.....	71
4.1 COLETA DE DADOS	72
4.2 SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS.....	73
4.3 ANÁLISE DE DADOS.....	74
4.4 DELIMITTAÇÃO DE PESQUISA	74
5 RESULTADOS.....	77
5.1 ANÁLISE HISTÓRICA PROGRESSIVA	77
5.1.1 Período antes da implantação da Usina	79
5.1.2 Período após a implantação da Usina	82
5.1.3 Período de desativação da Bacia de Cinza.....	87
5.1.4 Situação atual: Usina Eólica de Fotovoltaica	89
5.2 ANÁLISE DOS PERFIS ESTRATIGRÁFICOS	91
5.2.1 Análise de perfis de sondagens de épocas diferentes	93
5.2.2 Perfis Estratigráficos.....	95
5.2.3 Perfil de sondagem e gráficos resultantes do Ensaio de Dilatômetro.....	101
5.3 ENSAIOS GEOTÉCNICOS	107
5.3.1 Análise Granulométrica	107
5.3.2 Limites de Atterberg	108
5.3.2 Ensaio de compactação.....	110
5.3.2 CBR.....	113
5.3.3 Ensaio de placa.....	114
5.4 EXECUÇÕES DO REATERRO.....	117
5.4.1 Usina Solar Cidade Azul	117
5.4.1 Usina Eólica.....	119

5.5 ANÁLISE DAS INTERAÇÕES AMBIENTAIS.....	128
5.6 CRONOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO.....	131
6 CONCLUSÕES.....	133
REFERÊNCIAS.....	135
ANEXOS.....	141
ANEXO A.....	143
ANEXO B.....	203
ANEXO C.....	217
ANEXO D.....	227
ANEXO E.....	239

1 INTRODUÇÃO

A ocupação do território brasileiro iniciou-se pelo litoral e é nesta região que se concentra a maior parte da população brasileira. Este fato ocorreu por razões históricas, a comunicação e o transporte de pessoas e mercadorias dependiam do mar, também pela dificuldade de adentrar o interior com barreiras naturais: a Serra do Mar e a Serra Geral.

Segundo Moraes (2007), o processo de urbanização desta região teve como principais potencializadores a topografia e a rede hidrográfica. Após a segunda Guerra Mundial, a indústria surge como forte fator territorial, atraindo fluxo migratório para as metrópoles costeiras.

O litoral brasileiro apresenta seu relevo bastante acidentado e com grandes extensões planas de características geotécnicas variadas, apresentam solos sedimentares com presença de argilas moles (Solos Gleis e Solos Orgânicos) e areias quartzosas, e solos residuais de diferentes tipos de rochas (HIGASHI, 2006).

O estudo localiza-se na planície costeira catarinense, que segundo Oliveira (2006) apresenta largura mais pronunciada comparando aos demais estados do País, favorecendo a formação de depósitos de argilas moles extensos e importantes. Deve-se atenção às argilas moles das várzeas do Rio Itajaí-Açú, do Rio Tubarão, do Banhado do Maracajá e do Banhado do Cubículo.

No presente trabalho serão abordados aspectos geotécnicos da execução de um aterro no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – CTJL, localizado no município de Tubarão/SC. Utilizou-se como fonte de dados os relatórios de ensaios geotécnicos existentes no acervo da empresa Tractebel Energia S/A, realizados em diferentes épocas. Bem como, relatórios de produção de resíduos (cinzas) e de investigação ambiental.

Este trabalho não analisa os aspectos jurídicos, políticos e antropológicos envolvidos. Interessa-se, particularmente, pelos aspectos geotécnico-executivos e as influências que as análises consideradas poderão gerar em obras futuras, na área de estudo.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é caracterizar geotecnicamente a implantação do aterro sobre solos moles, preenchido com cinza

resultante da queima de carvão para geração de energia elétrica, localizado no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda – Tubarão – SC.

1.1.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, este trabalho tem por objetivos específicos:

- i) Identificar a evolução das condições da área de estudo;
- ii) Gerar um banco de dados de ensaios geotécnicos e relatórios pertinentes;
- iii) Analisar os parâmetros geotécnicos estabelecidos e o modelo geomecânico do depósito;
- iv) Caracterizar o método executivo do aterro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os temas que darão embasamento à pesquisa:

1. Origem e classificação dos solos;
2. Definição de cinza volante e cinza pesada (resíduos da produção de energia termelétrica à carvão);
3. Tipos de recalques (Teoria do Adensamento);
4. Ensaio de caracterização: Análise Granulométrica, Limites Atterberg, Ensaio de Compactação, Índice de Suporte Califórnia, SPT (*Standard Penetration Test*), Ensaio de Dilatômetro de Marchetti e Ensaio de Placa;
5. Métodos construtivos de aterros sobre solos compressíveis.

2.1 ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Os solos são materiais resultantes da decomposição e desintegração das rochas e minerais submetidos à ação dos agentes atmosféricos e biológicos. Segundo Caputo (1996), o solo é uma função da rocha-mãe e dos diferentes agentes de alteração que atuam simultaneamente, em determinado local e condições climáticas.

Os agentes de formação dos solos são mais atuantes em climas quentes, o que leva à formação de solos com misturas de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química (PINTO, 2006).

2.1.1 Classificação dos solos pela origem

Das (2011) afirma que as propriedades semelhantes que solos distintos possuem, faz com sejam classificados em grupos ou subgrupos, em virtude de seu comportamento. E que, há inúmeros sistemas de classificações, sendo nenhum definitivo para todos os elementos e para todas as aplicações possíveis, pois o solo é um material heterogêneo.

Caputo (1996) afirma que as diferentes classificações possuem limitações, porém é uma forma de identificação do solo.

Segundo Pinto (2006, p.64), “o solo pode ser classificado pela sua origem, pela sua evolução, presença ou não de matéria orgânica, pela estrutura e pelo preenchimento de vazios”.

A classificação a partir da origem do solo transmite informações complementares, em relação as classificações que se baseiam no tipo e comportamento das partículas. Assim, os solos podem ser identificados em residuais e transportados.

- i) Solos residuais são aqueles que permaneceram no local onde foram formados, para que isto ocorra à velocidade de decomposição da rocha, dever ser mais rápida que a velocidade de remoção por agentes externos. As condições impostas pelo clima das regiões tropicais (temperatura, regime de chuvas e vegetação) favorecem a degradação mais rápida da rocha, por estas razões é um solo predominante no Brasil. O tipo da rocha-mãe em que o solo está assentado condicionará a formação do solo. A rocha basáltica predomina na formação de solos argilosos, a de origem gnaisse são siltosos, a granítica apresenta teores próximos a areia média, silte e argila.
- ii) Solos Transportados são aqueles que sofreram transposição do seu local de origem, suas características estão vinculadas ao tipo de agente de transporte e distância em que foi carregado. São denominados coluvionares (quando transportados pela ação da gravidade); aluvionares (carreados pelas águas), eólicos (pelo vento) e glaciais (por geleiras).

2.2 CINZAS DE CARVÃO MINERAL PULVERIZADO

A cinza é resultante da queima de carvão em usinas termelétricas. O carvão brasileiro por apresentar alto teor de cinzas e pirita, após a combustão pode gerar uma quantidade de cinza, que representa 40% de seu peso inicial.

Segundo Margon (2002), devido à crise energética do país, a tendência é o aumento do consumo de carvão para a produção de energia elétrica. Alguns fatores contribuem para este quadro, o fornecimento constante (diferente das hidrelétricas que dependem de condições climáticas), a abundância e facilidade de extração do carvão, o domínio da tecnologia da queima do carvão e a falta de outras fontes de energia que possam substituí-lo. Consequentemente, o aumento de

geração de energia a carvão, induz ao crescimento da produção de cinzas.

O processo de uso do carvão para geração de energia elétrica inicia pela sua extração. Em seguida, o carvão é beneficiado para redução de impurezas e transportado até a usina, onde é moído para melhor desempenho durante a queima, em virtude de maior superfície de contato (RISSATO e SOUZA, 1985 *apud* LENZI, 2001).

A maioria das usinas termelétricas moem o carvão, tal modo que, a porcentagem passante na peneira #200 (0,075mm) maior que 70%. Então, o carvão moído é pulverizado no interior da caldeira, a matéria volátil e o carbono são queimados, enquanto que as impurezas minerais são fundidas e permanecem em suspensão nos gases da combustão. Algumas dessas partículas fundidas se aglomeram, formando o que se chama de cinza pesada (bottom ashes), que caem no fundo da caldeira e são recolhidas por esteiras rolantes. Enquanto, que as demais são transportadas com o fluxo do gás da combustão, chamadas de cinzas volantes ou cinzas leves (fly ashes), e são em grande parte captadas por uma série de separadores mecânicos e precipitadores eletrostáticos ou filtros, de acordo com Lenzi (2001).

2.2.1 Composição físico-química das cinzas

A cinza leve é um subproduto da combustão de carvão por essa razão, tal como o carvão, apresenta uma variabilidade significativa em suas propriedades e características físico-químicas. Podem ser divididas em dois grupos distintos por suas características mineralógicas. O primeiro com alto teor de cálcio (normalmente entre 15 e 30% de CaO total) é geralmente um produto de combustão de lignito e de carvões sub-betuminosos. E o segundo com baixo teor de cálcio (< 10% de CaO total), geralmente, é produto da combustão de antracito e de carvões betuminosos, são mais reativas porque contêm a maior parte do cálcio na forma de compostos cristalinos reativos (LENZI, 2001).

Piazza e Rui (1999) estudaram a utilização das cinzas leves e pesadas da Termelétrica de Charqueadas, no Estado do Rio Grande do Sul, como substituição de agregado em argamassa. Para tal, necessitaram analisar as propriedades destes materiais, e concluíram que, as cinzas pesadas apresentam características físicas bastante distintas das cinzas leves e composição química similar.

Estudos realizados por Cheriaf e Rocha (1997, *apud* Margon, 2002), investigaram as propriedades das cinzas provenientes do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda e constataram que as cinzas possuem maior

teor de Fe_2O_3 , comparado aos de SiO_2 e Al_2O_3 , isto está relacionado principalmente à presença de sulfito (pirita e marcassita) nos carvões minerais. Identificaram que o valor de perda ao fogo das cinzas pesadas está na ordem de 400%, comparada as cinzas leves.

Margon (2002), caracterizou quimicamente as cinzas pesadas do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda através da determinação dos elementos constituintes, estabelecidos pelo Grupo ValoRes do Núcleo de Pesquisas da Construção – NPC, da Universidade Federal de Santa Catarina. A composição química encontrada das cinzas é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Elementos constituintes de cinzas pesadas do CTJL

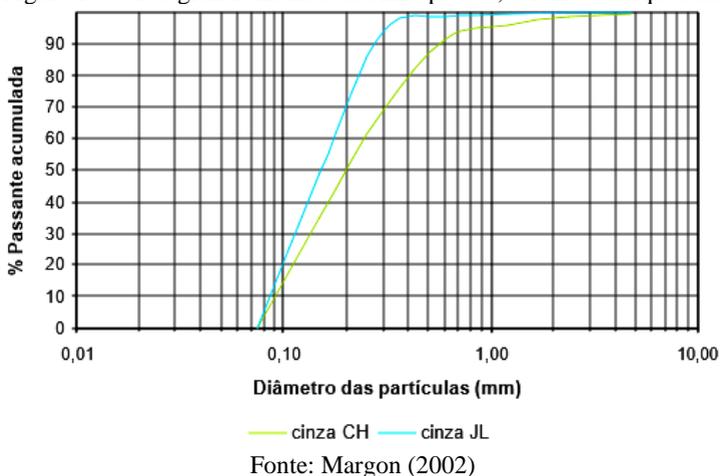
Elementos constituintes	Cinzas pesadas (%) CTJL
SiO_2	56,82
Al_2O_3	26,62
Fe_2O_3	6,59
MnO	0,03
MgO	0,66
CaO	1,12
Na_2O	0,29
K_2O	2,65
Ti_2O	1,28
P_2O_5	0,10
Perda ao fogo	3,82
C orgânico	3,48
CO_2	13,16
S	0,10
Cl (ppm)	260

Fonte: Margon (2002)

Cheriat *et al.* (1999) identificaram a presença significativa de partículas ocas (cenosferas e plerosferas) nas cinzas pesadas provenientes de Jorge Lacerda, atribuindo à essa morfologia a baixa massa específica encontrada. Os autores mostraram, através de micrografias, que na cinza pesada ocorre a presença tanto de partículas esféricas ou arredondadas como a de partículas totalmente irregulares. A granulometria, realizada por granulômetro a laser, mostrou que 100% das partículas são menores que $100\mu\text{m}$ e 2% são menores que $1\mu\text{m}$, sendo o diâmetro médio das partículas igual a $35\mu\text{m}$.

A cinza pesada do CTJL possui uma curva granulométrica que pode ser caracterizada como contínua, uniforme e sem presença de material pulverulento, identificada “cinza JL”, encontrada por Margon (2002), Figura 1. A segunda curva “cinza CH” representa as cinzas produzidas na Usina Termelétrica de Charqueadas, que fazia parte de seu estudo.

Figura 1 - Curva granulométrica da cinza pesada, CTJL e Charqueadas



2.2.2 Aplicação das cinzas

Estudos da década de 70 revelaram as propriedades pozolânicas da cinza leve, ou seja, apresentavam capacidade de reação ao cal em presença de água, formam novos compostos com propriedades aglomerantes. Conforme Lenzi, 2001; Margon (2002); Pozzobon (1999), esta propriedade da cinza leve, favorece que a seja empregada na fabricação de cimento Portland composto, como substituição parcial ao clínquer, e na produção de concretos e argamassas, como substituição parcial ao cimento.

Segundo Malhotra e Mehta (1996 *apud* Margon, 2002), em função das características mineralógicas e granulométricas, a cinza leve não necessita de qualquer processo de beneficiamento antes de ser usada como adição mineral em materiais aglomerantes hidráulicos. A cinza pesada, por apresentar granulometria graúda, menor reatividade e, na maioria dos casos, estarem em condição úmida, requer processo de beneficiamento.

A utilização das cinzas pesadas é determinada pelas suas características físicas, como a distribuição granulométrica. A textura normalmente áspera, fundida e vitrificada da cinza pesada contribui para um bom substituto para os agregados naturais na produção de concretos e argamassas (CHERIAF et. al, 1999).

Margon (2002) relata que a cinza pesada é um subproduto abundante, porém pouco explorado. E completa, há inúmeros estudos de aplicação, principalmente, como manufaturado na indústria da construção civil, no entanto sem uso em larga escala.

A cinza pesada produzida no CTJL foi utilizada, em 2010, como solução de aterro sobre solos moles no encontro da cabeceira do viaduto de acesso a cidade de Tubarão/SC, localizado no km 334, lote 26, da obra de duplicação da BR-101/SUL. Devido ao seu baixo peso específico, ou seja, 14 kN/m^3 sendo que o solo compactado possui 20 kN/m^3 .

2.3 TIPOS DE RECALQUE

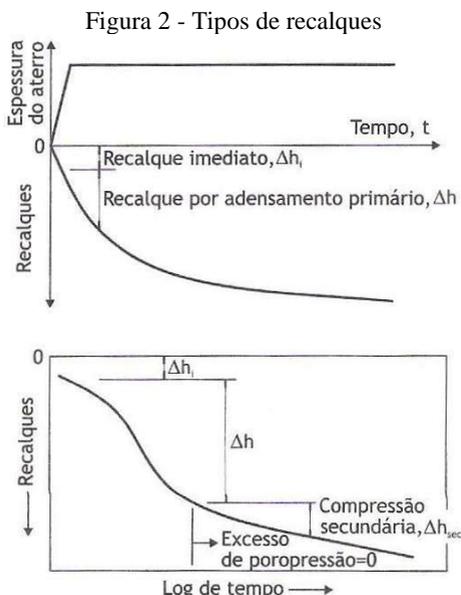
Segundo Cintra (2011), todos os materiais estão sujeitos a deformações quando submetidos à aplicação de esforços, isto também ocorre ao solo. Estas deformações devido a carregamentos verticais na superfície do terreno ou em cotas próximas à superfície são conhecidas como recalques.

O recalque ocorre quando há um aumento da tensão do solo causado por cargas que comprimem suas camadas. Esta compressão é causada por deformação das partículas do solo, deslocamento de partículas do solo e expulsão da água ou do ar dos espaços vazios (DAS, 2011).

Os autores Pinto (2006), Schnaid e Odebrecht (2012) e Almeida e Marques (2010), afirmam que o comportamento do solo perante aos carregamentos depende da sua constituição e do estado do em que se encontra. As deformações rápidas são atribuídas a solos arenosos ou solos argilosos não saturados, enquanto nos solos argilosos saturados ocorrem deformações lentas, pois ocorre em função da saída da água dos vazios do solo.

Segundo Almeida e Marques (2010), os recalques são classificados em três categorias: recalques imediatos (Δh_i), recalques por adensamento primário (Δh) e recalque por compressão secundária (Δh_{sec}), como apresentados esquematicamente na Figura 2.

Segundo Formighere (2003), os cálculos do recalque imediato baseiam-se nas equações derivadas da teoria de elasticidade. Os dois últimos tipos de recalque são calculados a partir da estimativa da variação do índice de vazios resultante da aplicação do carregamento. Segundo Almeida (2010) o cálculo do recalque por adensamento *versus* tempo é realizado segundo a Teoria de Terzaghi, publicada em 1943.



Fonte: Rixer; Kreaemer; Smith (1986 *apud* ALMEIDA; MARQUES, 2010)

2.3.1 Teoria de adensamento

A teoria de adensamento desenvolvida por Terzaghi foi o início para análise do comportamento de solos compressíveis submetidos a carregamentos verticais.

O processo de adensamento, em um solo saturado, envolve uma transferência gradual de esforços da água para o arcabouço sólido. Como esta transferência só é possível pela dissipação dos excessos de poropressão através da drenagem da água, utiliza-se a equação de fluxo para estudar analiticamente este processo (FORMIGHERI, 2003, p.38).

Segundo Caputo (1996) a formulação desta teoria admite as seguintes hipóteses simplificadoras: solo homogêneo e saturado, compressão e fluxo unidimensional, incompressibilidade dos grãos sólidos e da água, validade da lei de Darcy, invariabilidade nas propriedades do solo durante o processo de adensamento e redução linear do índice de vazios com o aumento das tensões efetivas durante o processo de adensamento. Tais hipóteses conferem um caráter aproximado para o cálculo de recalques por adensamento, com conclusões consideradas satisfatórias.

2.4 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Para definir um tipo de solo é necessário distinguir seus parâmetros. A obtenção de parâmetros dos solos, tais como o coeficiente de permeabilidade, o módulo de deformabilidade, coeficiente de empuxo em repouso e a resistência ao cisalhamento, necessários para o projeto de um aterro, é realizada através da investigação geotécnica (MASSAD, 2010).

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), um programa de investigação geotécnica auxilia na redução de custos e, principalmente, de riscos, pois quando não realizado pode levar o engenheiro a confrontar condições geotécnicas imprevistas, que ocasionalmente resultarão em atrasos no contrato. Esses atrasos conduziriam a custos elevados, superiores aos valores que deveriam ser destinados ao programa de investigação.

A investigação geotécnica para aterros em solos de baixa capacidade de suporte é realizada utilizando ensaios *in situ* e ensaios de laboratório, que objetivam a definição de parâmetros e modelo geomecânico do depósito para fundamentar os cálculos de estabilidade e de recalques.

2.4.1 Ensaios laboratoriais

Os ensaios usualmente realizados para o projetos geotécnicos incluem a análise granulométrica, determinação dos limites de Atterberg e a determinação da massa específica dos grãos. As vantagens dos ensaios laboratoriais são: as condições de contorno bem-definidas, condições controladas de drenagem, trajetória de tensões conhecidas durante o ensaio e a natureza do solo identificável.

A seguir, um breve resumo da Análise Granulométrica e dos ensaios de Limites de Atterberg, Compactação e Índice de Suporte Califórnia.

2.4.1.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica tem por objetivo o reconhecimento dos tamanhos dos grãos de um solo, realizado em duas fases: peneiramento e sedimentação.

O ensaio de peneiramento consiste em agitar uma amostra do solo em um conjunto de peneiras que estão dispostas em ordem decrescente de abertura da tela. O peso do material passante em cada peneira, considerado como a “porcentagem que passa”, é representado graficamente em função da abertura da peneira, em escala logarítmica. Esse registro é chamado de curva de distribuição granulométrica. A abertura nominal da peneira é considerada como o “diâmetro” das partículas, no entanto trata-se de um “diâmetro equivalente”, visto que as partículas do solo não são esféricas. Esta análise está limitada pela abertura da peneira, geralmente, a menor utilizada é de nº200, que equivale a 0,075 mm (PINTO, 2006).

2.4.1.2 Limites de Atterberg

Segundo Caputo (1996, p. 54), anos de estudos revelaram que solos com certa presença de finos, a análise granulométrica “não basta para a caracterização do material, pois suas propriedades plásticas dependem do teor da umidade, além da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica”.

E completa, “a plasticidade é definida como uma propriedade do solo quantificada em sua capacidade em ser moldado, em determinadas condições de umidades e sem alteração de volume. Também, é uma das características mais importante das argilas”.

Buscou-se identificar a influência das partículas argilosas, através de índices e ensaios propostos pelo engenheiro químico Atterberg. Os limites se baseiam na constatação de que um solo argiloso comporta-se diferente de acordo com quantidade de água presente (PINTO, 2006).

Os teores de umidade definem as mudanças de estado, chamado de estado de consistência que estão separados pelos limites de consistência, são eles: Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP).

O Limite de Liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar, numa concha. Diversas tentativas são realizadas, anotando-se o número de golpes para fechar a ranhura, obtendo-se o limite de interpolação dos resultados, conforme a NBR 6459 – Solo: Determinação do Limite de Liquidez (ABNT, 1984a).

O Limite de Plasticidade é definido como o percentual mínimo de umidade, no qual o solo colapsa na execução de rolos de 3,2 mm de diâmetro, de comprimento de 10 cm, ou seja, é o limite inferior no intervalo plástico do solo. Este procedimento está padronizado pela NBR 7180 – Solo: Determinação do Limite de Plasticidade (ABNT, 1984b).

O Índice de plasticidade (IP) é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade de um solo, portanto:

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

Ele define a zona em que o terreno se acha no estado plástico, a partir de seu valor é possível determinar o caráter argiloso de um solo. Quanto maior o IP, mais argiloso ele será, segundo Caputo (1996).

Embora esteja fundamentada em dados empíricos, é um ensaio consagrado na literatura. Principalmente, pela sua execução simples e rápida, com resultado satisfatório do tipo do solo e suas propriedades (PINTO, 2006).

A Tabela 2 fornece a classificação do IP de forma quantificada elaborado por Burmister (1949, *apud* Das 2011).

Tabela 2 - Classificação do IP

IP	Descrição
0	Não plástico
1-5	Ligeiramente plástico
5-10	Plasticidade baixa
10-20	Plasticidade média
20-40	Plasticidade alta
> 40	Plasticidade muito alta

Fonte: Burmister (1949, *apud* Das 2011)

2.4.1.3 Ensaio de Compactação

A execução de obras geotécnicas, em muitos casos, necessita da compactação do solo, pois este procedimento exerce a diminuição do índice de vazios, conseqüentemente, aumenta o peso específico e a resistência do material que induzirá a maior estabilidade de aterros. Estudos comprovaram que uma compactação satisfatória depende do teor de umidade presente no solo. O teor de umidade que produz a máxima densificação, é chamado de teor de umidade ótima, determinado pelo ensaio de Compactação (DAS, 2011).

O teor de umidade ótima é encontrado em função do peso específico. Inicia-se o ensaio com uma amostra de solo seco, realiza-se a compactação, a determinação do teor de umidade e peso específico, porém em função da baixa umidade as partículas do solo não conseguem deslizar, que facilitaria a expulsão do ar. Então, nesta mesma amostra adiciona-se mais água, compacta-se e determina-se novamente o teor de umidade e peso específico. Durante este processo há o aumento do teor de umidade e peso específico, em certo momento, haverá uma redução do peso específico, em virtude dos vazios do solo passar a ser preenchidos por água. Plotados no gráfico (peso específico *versus* teor de umidade) surgem duas retas, conhecida como ramo úmido e ramo seco, através de uma curva parabólica, unem-se estes dois ramos, o vértice da curva será o teor de umidade ótima adotado em projeto para uma compactação mais eficiente. O procedimento de ensaio está especificado pela NBR 7182 – Ensaio de Compactação (ABNT, 1986).

O tipo de solo influencia no resultado deste ensaio, conforme é possível observar na Figura 3. Segundo Das (2011), os solos argilosos apresentam densidades secas baixas e umidades ótimas elevadas, dando a curva um formato de sino bem característico. Os solos siltosos têm densidades secas baixas, porém umidades ótimas menos elevadas, apresentando uma curva menos pronunciada. A redução inicial do peso específico registrado na areia deve-se a tensão capilar da água, entre os grãos, que dificulta a movimentação dos mesmos.

O ensaio de compactação de cinza pesada indica valores de peso específico seco máximo de:

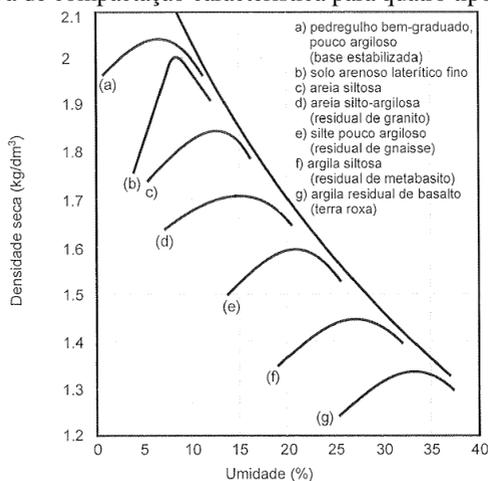
$$\gamma_{s\text{máx}} = \frac{14,00}{1+0,40} = 10\text{kN/m}^3 \quad (2)$$

Onde: $\gamma_h = 14,00 \text{ kN/m}^3$

$h_{\text{ót}} \approx 40\%$

Os ensaios com reuso de material ocorrem as quebras de partículas, o afinamento do material e maior absorção aparente da água.

Figura 3 - Curva de compactação característica para quatro tipos de solos



Fonte: Pinto (2006)

Das (2011) fornece uma compilação de resultados de ensaio de Proctor Normal para cinza pesada, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Compactação de Cinzas Pesadas, Das (2011)

Tipo	Local	Peso específico seco máximo (kN/m³)	Teor de umidade ótimo (%)	Fonte
Cinzas pesadas – carvão betuminoso (Virginia Ocidental)	Fort Martin	13,4	24,8	Seals, Moulton e Ruth (1972)
	Kammer	16,0	13,8	
	Rio Kanawha	11,4	26,2	
	Mitchel	18,3	14,6	
	Muskingham	14,3	22,0	
	Ilha Willow	14,5	21,2	
Cinzas pesadas – carvão linhita	Usina elétrica Big Stone Planta, Dakota do Sul /EUA	16,4	20,5	Das, Selim, e Pfeifle (1978)

Fontes: Das, 2011

2.4.1.4 Índice de Suporte Califórnia (*California Bearing Ratio* – CBR)

A capacidade de suporte de um solo compactado pode ser medida através do método do índice de suporte, que fornece o Índice de Suporte Califórnia – ISC. Trata-se de um método de ensaio empírico, adotado pela maioria dos órgãos rodoviários, no Brasil e no mundo. O objetivo do ensaio é determinar o índice de suporte Califórnia (CBR) e a expansão do solo.

O ensaio determina a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente. Essa relação é expressa em porcentagem (DNIT, 2010).

O ensaio está padronizado pela NBR 9895 – Índice de Suporte Califórnia (ABNT, 1987). Consiste em compactar o solo com porcentagens crescentes de umidades num molde cilíndrico de dimensões específicas. A compactação é realizada em camadas, aplicando-se um determinado número de golpes em cada camada, com um soquete padronizado, peso e altura de queda especificados. Em seguida, determina-se o teor de umidade de cada amostra (h), podendo-se calcular a massa específica aparente seca. Estas operações são realizadas em todas as amostras, tal que caracterize a curva de compactação, com no mínimo cinco corpos-de-prova.

Moldadas as amostras, inicia-se o ensaio de expansão: anota-se a leitura inicial, utilizando-se extensômetros, e as amostras são imersas no tanque. A cada 24h é realizada a leitura do extensômetros, num total de 4 dias. Depois de realizada a última leitura, deve-se deixar o corpo de prova escoar a água por 15 minutos, então estará preparado para a o ensaio de penetração.

A penetração consiste no assentamento do pistão na amostra, por uma prensa, com aplicação de carga de aproximadamente 45 N controlada pelo deslocamento do ponteiro de extensômetro.

Com os dados obtidos é possível determinar a peso específico aparente seco das amostras e a expansão de cada corpo-de-prova, pela seguinte expressão:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{(\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro})}{\text{altura inicial do corpo de prova}} \times 100 \quad (3)$$

A determinação do Índice de Suporte Califórnia é feita graficamente, traça-se a curva de pressão aplicada pelo pistão *versus* a

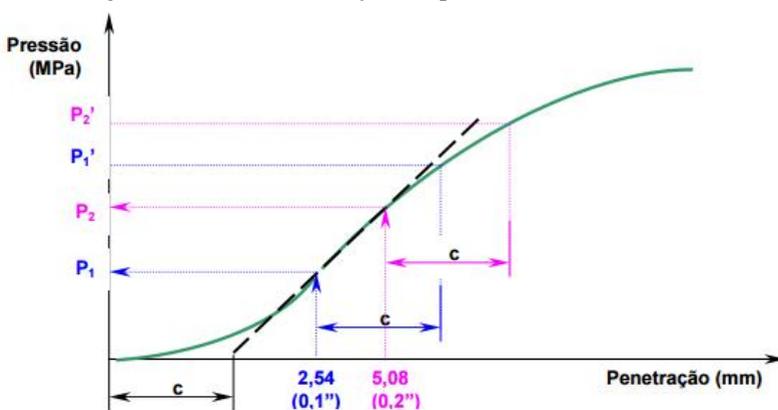
penetração do pistão. A curva apresentará um ponto de inflexão, então traça-se uma tangente a curva neste ponto até que a mesma intercepte o eixo das abscissas. A curva corrigida será então esta tangente mais a porção convexa da curva original. Recomenda-se a correção na curva pressão-penetração, a fim de ajustar o ponto zero da mesma, para corrigir os efeitos provenientes da irregularidade da superfície da amostra. A distância entre a tangente e o zero da antiga curva, pode ser chamada de “c”, este valor será somado às penetrações 2,54 e 5,08 mm, para então encontrar as pressões corrigidas, A correção pode ser obtida como mostra a Figura 4.

O Índice de Suporte Califórnia (ISC), em porcentagem, para cada corpo-de-prova é obtida pela seguinte fórmula:

$$\text{ISC} = \frac{\text{pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{pressão padrão}} \times 100 \quad (4)$$

Adota-se o maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08mm.

Figura 4 - Gráfico de correção, adaptado da NBR 9895/1987



P_1 e P_2 Pressões lidas para 2,54 e 5,08 mm
 P_1' e P_2' Pressões corrigidas para 2,54 e 5,08 mm

Fonte: Fortes (2014)

2.4.2 Ensaio *in situ*

Os ensaios em campo são executados quando as amostras indeformáveis têm qualidade inferior à necessária para a realização do ensaio em laboratórios. Em geral, são menos onerosos e oferecem resultados mais rápidos (MASSAD, 2010).

Segundo Formigheri (2003) a principal vantagem em fazer o ensaio em campo é minimizar os efeitos de amolgamento do solo que podem vir a ocorrer em ensaios laboratoriais devido às operações de cravação, retirada e transporte de amostras.

Os ensaios em campo podem ser efetuados em diferentes etapas de execução do aterro, o SPT e o Ensaio de Dilatômetro de Marchetti são realizados antes do início da obra para determinação das premissas de projeto; e após o aterro, ensaios que comprovem a resistência do solo, como o Ensaio de Placa. A seguir estão descritos os ensaios citados, executados na área de estudo.

2.4.2.1 SPT (*Standard Penetration Test*)

O *Standard Penetration Test* - SPT, segundo Schnaid e Odebrecht (2012, p.23):

É, reconhecidamente, a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo mundo. [...] O ensaio SPT constitui-se em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento.

Segundo a NBR 6484 – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio (ABNT, 2001), a sondagem tem por finalidade a determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência, cota do nível do lençol freático e os N_{SPT} : índices de resistência à penetração a cada metro.

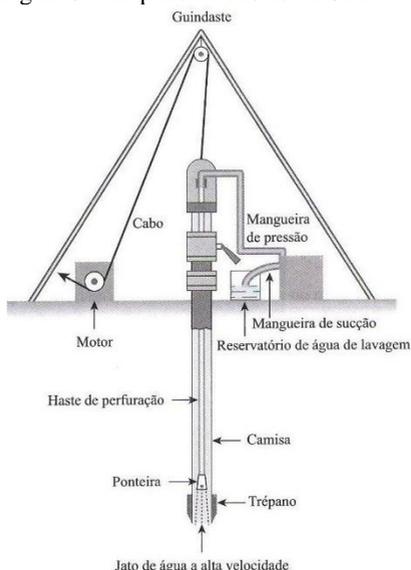
De acordo com a NBR 6484/2001, o procedimento de ensaio consiste na cravação do amostrador padrão, peça constituinte do trépano, usando-se a queda do peso de 65 kg de uma altura de 75 cm. O valor do N_{SPT} é número de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar 30 cm, após uma cravação inicial de 15 cm. O amostrador padrão, com diâmetro externo de 5 cm, tem a função de coletar as amostras representativas dos solos.

Existe o procedimento de perfuração por lavagem, neste método o solo cravado é envolto por uma camisa e em seguida o solo é removido através uma broca de corte ou trépano, que está fixada à haste de perfuração, conforme Figura 5. A mistura de água e solo cortado aflora na superfície, então esta água de lavagem é coletada em um recipiente. A camisa então é prolongada para que continue o ensaio (DAS, 2011).

O mesmo autor acrescenta que há a perfuração rotativa, opera-se com brocas, fixadas à parte inferior da haste de perfuração, com movimentos rápidos, corta e tritura o solo, que depois é levado a superfície. Aplicada em areias, argila e rochas. O procedimento pode ser através de perfuração por percussão, utiliza-se uma broca pesada em movimentos verticais ascendentes e descendentes, até que ocorra o cisalhamento do solo, as partículas cortadas são trazidas a superfície por arraste hidráulico, indicada para solos rígidos e rochas.

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), o equipamento e o procedimento empregados dependem das condições do subsolo e do sistema de perfuração, quando se utiliza mais de um tipo de perfuração, denomina-se sondagem mista. Relata, também, que o ensaio se destaca por sua simplicidade de equipamento, baixo custo e obtenção de um valor numérico capaz de ser correlacionado a métodos semiempíricos, amplamente utilizados em projetos geotécnicos.

Figura 5 - Trépano de ensaio de SPT



Os resultados são empregados para determinação do perfil do subsolo e na identificação tátil-visual das diferentes camadas a partir das amostras recolhidas. A classificação do material é obtida pela combinação da descrição do testemunho de sondagem e de acordo com a NBR 6484:2001 é baseada em medidas de resistência à penetração. O Quadro 1, adaptado da mesma norma, apresenta esta classificação:

Quadro 1 - Estado de compactidade e consistência dos solos, NBR 6484/2001

Solo	Índice de resistência à penetração (N) por SPT	Designação ¹⁾
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura(o)
1) As expressões empregadas para a classificação da compactidade das areais (fofa, compacta, etc.), referem-se à deformabilidade e resistência deste solos, sob o ponto de vista de fundações, e não devem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areais ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na Mecânica dos Solos.		

Fonte: ABNT (2001)

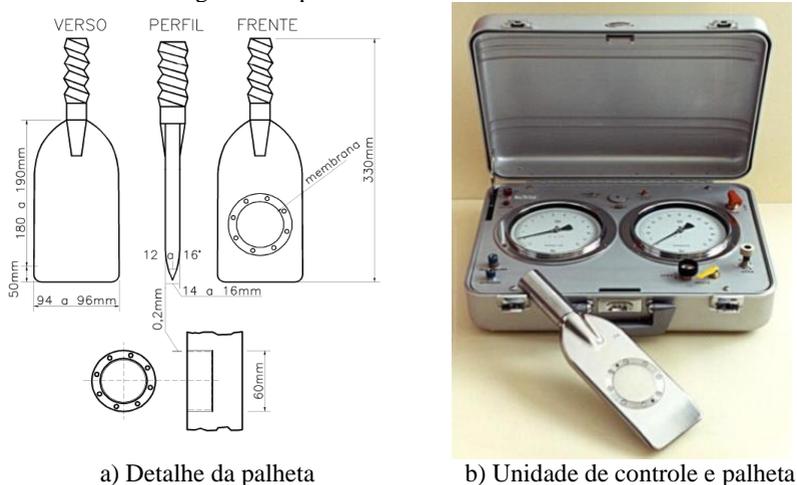
2.4.2.2 Ensaio de Dilatômetro de Marchetti

Segundo Vieira (1994), o dilatômetro, aparelho que dá nome ao ensaio, é constituído por uma palheta de aço inoxidável de espessura de 20 mm e largura de 80 mm, possui uma membrana expansível circular de aço (diâmetro de 60 mm) em uma de suas faces, conforme Figura 6 (a).

Schnaid e Odebrecht (2012) descrevem a execução do ensaio desse modo, a penetração da palheta ocorre em intervalos de 20 cm, onde se

mede o esforço necessário para a cravação e, em seguida, utilizando a pressão do gás expande-se a membrana contra o terreno, com deslocamento máximo de 1,10 mm de seu centro. Registra-se as pressões do início e do final dessa expansão, por meio de um par de manômetros disponíveis na central de leituras do equipamento, apresentado na Figura 6 (b), que se encontra na superfície do terreno.

Figura 6 - Aparelho do Ensaio de Dilatômetro



a) Detalhe da palheta

b) Unidade de controle e palheta

A pressão inicial e final da expansão é conhecida como “leituras A e B”, respectivamente, que são corrigidas em virtude da rigidez da membrana e de eventuais imprecisões no sistema de medição, dando origem as pressões líquidas P_0 e P_1 , que são fundamentais para as correlações que estimam os parâmetros geotécnicos. Outro índice utilizado é a pressão hidrostática (u_0), que é determinada na observação do N.A., após a retirada da composição de hastes ou obtido de uma sondagem à percussão executada nas proximidades, que garante maior precisão (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012).

Os estudos de Silvano Marchetti (1975, *apud* SCHNAID; ODEBRECHT, 2012), pesquisador responsável pela idealização e construção do equipamento, bem como pela formulação dos conceitos básicos, são fundamentais para os parâmetros geotécnicos apresentados a seguir.

Índice do material - I_d

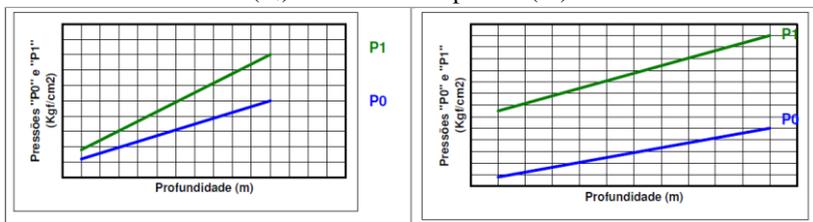
O I_d é aplicado na identificação do comportamento granulométrico do solo, expressado por:

$$I_d = \frac{P_1 - P_0}{P_0 - u_0} \quad (5)$$

É a razão entre a faixa de diferença entre as pressões, P_0 e P_1 , e a condição de confinamento tensão horizontal efetiva ($\sigma'_h = P_0 - u_0$), onde u_0 é a pressão hidrostática no solo.

A Figura 7 apresenta os valores típicos P_0 e P_1 , de acordo com o tipo de solos e mostra a amplitude da diferença entre as duas pressões.

Figura 7 – Valores típicos entre as pressões de início da expansão da membrana (P_0) e do final da expansão (P_1)



(a) Solos Finos

(b) Solos Granulares

Fonte: Damasco Penna (2013)

Nos solos argilosos, observa-se que a pressão P_1 é apenas um pouco maior do que a pressão P_0 , portanto resultará em valores de I_d baixos. Enquanto nos solos arenosos, essa diferença é mais pronunciada, apresentará valores de I_d altos.

O determinante dessas diferenças, entre as pressões ($P_1 - P_0$), necessárias para deformar o solo em 1,10 mm, em proporção da tensão horizontal efetiva ($P_0 - u_0$), é proporcional ao índice de vazios do solo e, conseqüentemente, à sua compressibilidade, assim torna possível a distinção granular do solo, a partir da observação de seu comportamento.

Módulo dilatométrico - E_d

O E_d é aplicado na quantificação da compressibilidade do solo, é obtido diretamente das leituras P_0 e P_1 , pela aplicação da teoria da elasticidade, o que leva a determinação das características de compressibilidade do solo.

Assumindo-se que o solo ao redor do dilatômetro é formado por dois semiespaços elásticos, tendo a lâmina como plano de simetria, a expansão da membrana pode ser modelada como o carregamento flexível de uma área circular (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012, p.166).

A equação 6 apresenta a solução matemática para essa teoria:

$$\delta(r) = \frac{4}{\pi} \left(\frac{1-\nu^2}{E} \right) (P_1 - P_0) r_a \sqrt{1 - \left(\frac{r}{r_a} \right)^2} \quad (6)$$

Onde, δ é o deslocamento radial do centro da membrana; r , o raio do ponto de interesse; r_a , o raio da área carregada; E , o módulo de Young do solo; ν , o coeficiente do Poisson do solo.

O valor de E_d está relacionado à “proporção elástica” do solo, ou seja, ele exprime a relação entre o módulo de elasticidade do solo (E) e o coeficiente de Poisson do solo (ν), onde:

$$E_d = \frac{E}{1-\nu^2} \quad (7)$$

Portanto, ao atribuir $\delta = 1,1$ mm, $r_a = 30$ mm (raio da membrana), $r = 0$ na Equação 5. E considerar a relação de E_d com o E , da Equação 6, encontra-se:

$$E_d = 34,7. (P_1 - P_0) \text{ [Kgf/cm}^2\text{]} \quad (8)$$

Segundo Schnaid e Odebrecht (2012), a partir de resultados obtidos em diferentes solos, Marchetti concluiu que I_d é controlado pelo o tamanho dos grãos e que E_d está relacionado, a consistência ou a compacidade solo, e que através destes dois índices era possível estimar o peso específico do material. Com base nessas evidências, Marchetti e Crapps (1981) elaboraram o gráfico que indica o tipo solo, conforme Figura 8.

Índice de tensão horizontal - K_d

Este índice é aplicado na avaliação do histórico de tensões já aplicadas ao solo, obtido a partir da leitura do início da expansão da membrana contra o terreno (P_0) e do conhecimento da coluna

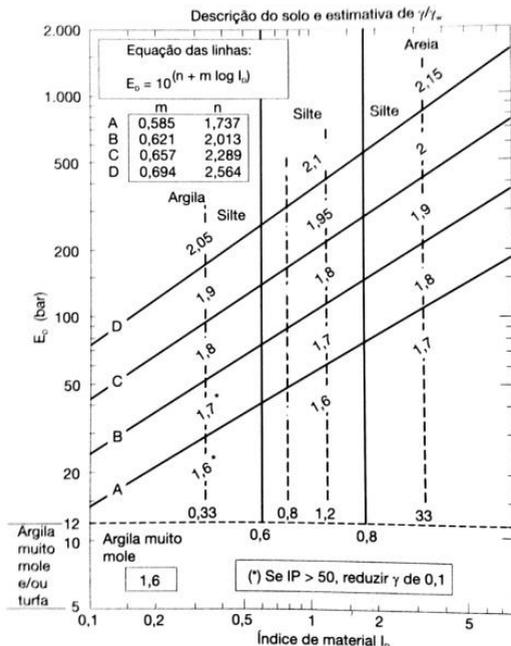
hidrostática em campo (u_0). A pressão vertical efetiva, σ'_{v0} , é calculada pelo produto do peso específico total do solo com a profundidade de ensaio, subtraído da pressão hidrostática. O peso específico total do solo adotado é estimado pelo gráfico da Figura 8.

O K_d é proporcional a tensão horizontal *in situ* e sensível a outras propriedades do solo. A razão de pré-adensamento, a idade do depósito e o grau de cimentação influenciam as medidas de K_d .

$$K_d = \frac{P_0 - u_0}{\sigma'_{v0}} \quad (9)$$

Schnaid e Odebrecht (2012) afirmam que a interpretação dos resultados deste ensaio possibilita a estimativa de parâmetros geotécnicos através de correlações semiempíricas, tais como: empuxo no repouso (K_0), módulo de elasticidade (E), razão de pré-adensamento (OCR), resistência de cisalhamento não drenada (S_u). As correlações existentes foram desenvolvidas por autores internacionais.

Figura 8 - Classificação dos solos, segundo Marchetti e Crapps (1981)



Fonte: Schnaid e Odebrecht, 2012

2.4.2.3 Ensaio de placa

O ensaio de placa consiste em averiguar a capacidade de carga do solo, através de uma placa rígida com uma área não inferior 0,5 m², posta sobre o solo natural na cota prevista em projeto onde serão realizadas as futuras fundações superficiais. São aplicadas cargas verticais no centro da placa, em estágios, de modo a não produzir choques ou trepidações. Medem-se as deformações, simultaneamente, com os incrementos de carga. Os resultados são apresentados em gráficos de pressão *versus* recalque, conforme regulamentado pela NBR 6489 – Prova de carga direta sobre terreno de fundação (ABNT, 1984c).

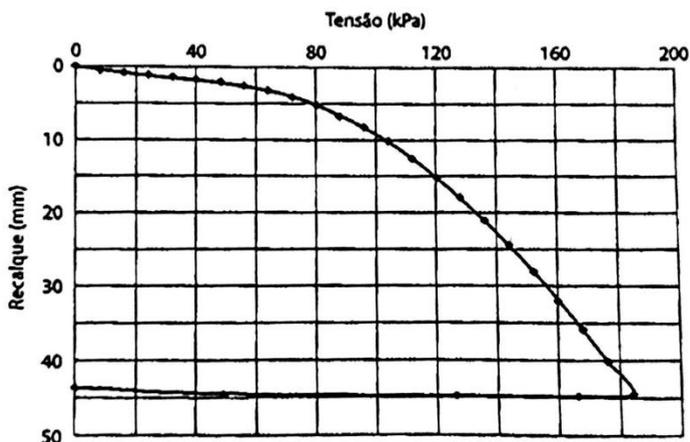
De acordo com esta Norma, alguns cuidados devem ser tomados durante a execução:

- Evitar a alteração do grau de umidade natural e amolgamento do solo na superfície de carga.
- Ao redor da placa, ou poço, deve-se aplainar o terreno, e não deverão existir cargas aplicadas em uma faixa de largura de pelo menos um diâmetro ou lado da placa.
- Os extensômetros para medidas das deformações deverão ser sensíveis a 0,01 mm e colocados em pelo menos dois pontos diametralmente opostos da placa para a medição dos recalques.

Para finalizar o ensaio deve atingir no mínimo um recalque de 25 mm ou o dobro da tensão admissível provável do solo. Os resultados obtidos são apresentados numa curva tensão-recalque, na qual devem constar as observações feitas no início e no fim de cada estágio de carga, com indicação dos tempos decorridos.

Cintra (2011), ao analisar o gráfico resultante do ensaio de uma areia argilosa porosa da região de São Carlos/SP, conforme Figura 9. Afirma que para definir a tensão de ruptura devem-se usar os princípios estabelecidos por Terzaghi, que considera a tensão correspondente a ruptura a partir do ponto em que a curva se transforma em linha reta, neste caso seria $\sigma_r = 144$ kPa.

Figura 9 - Curva tensão *versus* recalque de ensaio de placa areia

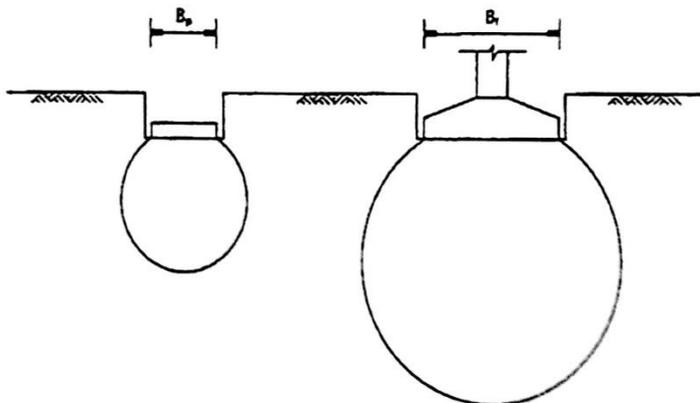


Fonte: Macacari (2001 *apud* Cintra, 2011)

O mesmo autor completa, a placa do ensaio é um modelo reduzido da fundação da edificação, portanto há uma tensão experimental correspondente a sua área de aplicação. E faz-se necessário estimar o recalque da sapata de projeto (protótipo). Para isso, precisa-se quantificar o efeito do aumento da dimensão nos recalques.

A relação entre modelo reduzido *versus* protótipo está relacionada à proporção dos bulbos de tensões gerados conforme suas dimensões, conseqüentemente aos recalques gerados. A definição dessas proporções considera o solo como meio elástico homogêneo ou linearmente não homogêneo, em função do histórico de tensões do maciço. A Figura 10 apresenta essa proporção, tal que B_p e B_f significam, respectivamente, a base da placa e da fundação.

Figura 10 - Relação modelo versus protótipo



Fonte: Cintra (2011)

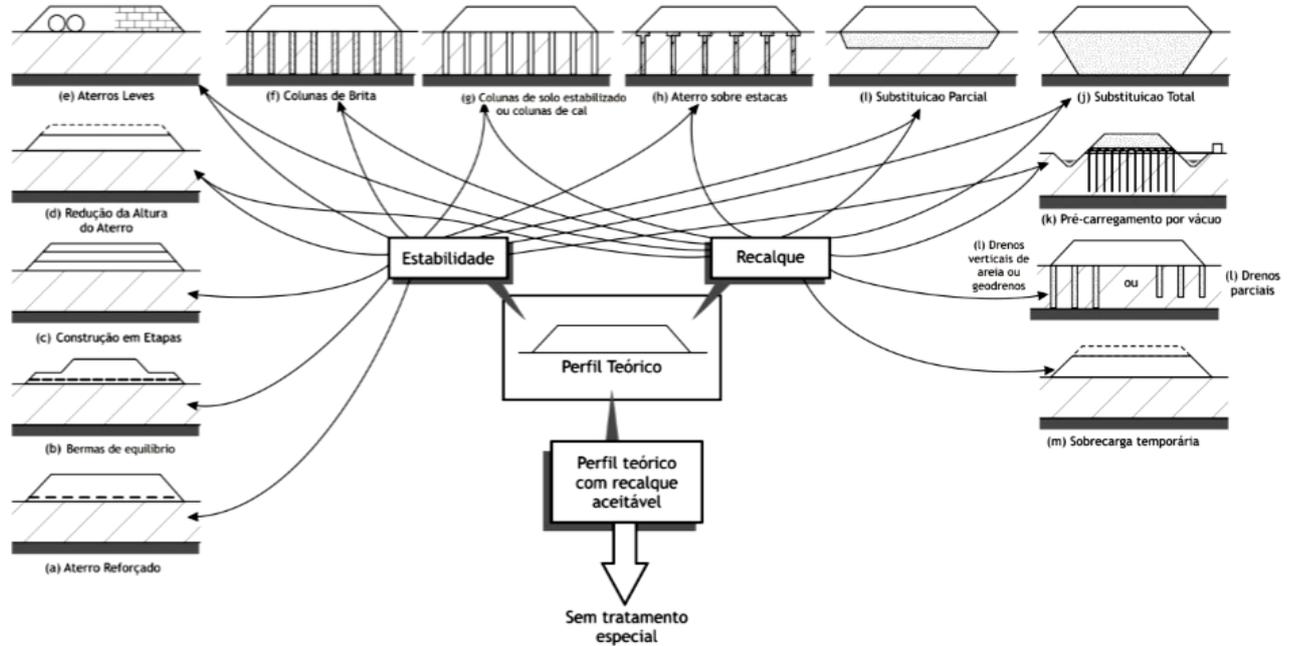
2.5 MÉTODOS CONSTRUTIVOS PARA ATERROS

Segundo Almeida e Marques (2010, p. 31), “a escolha do método construtivo está associada a diversos fatores, tais como: características geotécnicas dos depósitos, área ocupada, prazos construtivos e custos envolvidos”. A Figura 11 apresenta os diferentes métodos para realização de um aterro em solos moles, que venham solucionar ou atenuar problemas de recalques e estabilidade.

E afirmam, os aterros convencionais (a, b, c, d, m) ou sobre drenos verticais (k, l) podem ser restringidos seu uso, pois necessita de longo prazo para execução. O que contribui para a escolha de aterros sobre elementos de estacas (f, g, h) ou aterros leves (e) por possuírem execução de curto prazo, porém com custos elevados. A remoção do solo (i, j) é recomendado para espessuras de camadas estreitas e que haja curta distância de transporte, entre a obra e o local de bota-fora. O uso de bermas (b) pode ser inviabilizada pela escassez de espaço, fato comum nos grandes centros.

Entre os métodos construtivos apresentados serão abordados os quais foram utilizados no aterro do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Figura 11 - Métodos construtivos de aterros



Fonte: Almeida e Marques (2010)

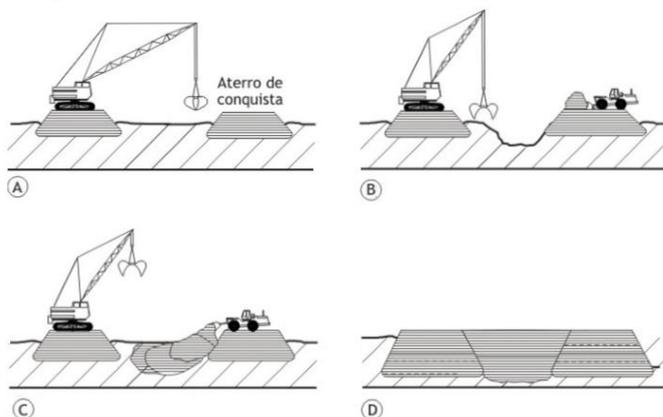
2.5.1 Substituição de solos moles

O processo consiste na retirada total ou parcial do solo por meio de dragas/escavadeiras, para a substituição de um solo com maior capacidade de suporte. É recomendado em depósitos com espessuras de até 4 m, porém há como vantagem a diminuição ou eliminação de recalques e o aumento do fator de segurança à ruptura (MASSAD, 2010).

Ao iniciar a escavação, em virtude da baixa capacidade de suporte, é executado o aterro de conquista que permite a entrada dos equipamentos (Figura 12, a). Em seguida, é retirado o material e preenchido com novo material de aterro (Figura 12, d). Deve-se ter cautela com o tipo de equipamento, opta-se para os mais leves, pois máquinas robustas podem atolar no solo compressível (ALMEIDA; MARQUES, 2010).

Segundo Almeida e Marques (2010), este método é uma solução tradicional para redução dos problemas de recalques e estabilidade de aterro, porém está sendo substituídos por outros, em virtude do alto custo e, principalmente, das questões ambientais que o envolve. O impacto ocorre na exploração de materiais de jazida e por exigir uma área de bota-fora que deve estar licenciada por órgãos ambientais.

Figura 12 - Sequência executiva de substituição de solos moles



- (a) Execução do aterro de conquista; (b) Escavação e retirada do solo mole;
 (c) Preenchimento da cava; (d) Solo substituído (situação final)

2.5.2 Aterro sobre elementos de estacas

Aterros sobre estacas ou aterros estruturados (Figura 11, h) são aqueles em que parte ou a totalidade dos esforços por carregamento são transmitidas ao solo de fundação mais competente, subjacente ao solo mole, pelos elementos estruturais (estacas). A distribuição de tensões do aterro para estacas é feita por meio de capteis, geogrelhas ou lajes. Possui tempo de execução curto e alto controle de recalque, todavia o seu custo é oneroso (MASSAD, 2010).

Segundo Almeida e Marques (2010), o resultado satisfatório desta técnica deve-se a um projeto executivo bem elaborado, com detalhamento dos componentes (coluna, capitel e aterro) e da interface entre eles, além de uma execução padronizada por normas técnicas. Por ser um método executado com diversos materiais envolvidos, de características de resistência e deformabilidade diferente, recomendam-se o uso de métodos numéricos, como Elementos finitos para análise complementar.

2.5.3 Aterro Hidráulico

Segundo Faria (2014, p.3) “o processo de construção deste tipo de estrutura contempla três fases distintas: dragagem do material a partir de um local de empréstimo, transporte do material dragado até ao local de construção e descarga do material para a construção do aterro hidráulico”.

O pioneiro responsável em utilizar este método executivo, sobre solos moles no Brasil, foi Milton Vargas em 1973, na Baixada Santista, no Pátio da COSIPA (Companhia Siderúrgica Paulista). Na execução, primeiro houve a remoção do solo compressível com drag-line, por ser um aterro em meia encosta, o solo apresentava em declive, o que facilitou a sua retirada. Em seguida, foi reaterrado hidráulicamente a escavação com areia, formando um “colchão de areia”, o que garantiu maior resistência ao terreno, possibilitando a operação de máquinas pesadas, que antes eram impossibilitadas de adentrar, devido à baixa resistência do solo (MASSAD, 2009).

Segundo Massad (2009), a técnica proposta por Vargas foi idealizada, ao observar na Baixada Santista, os terrenos que possuíam uma camada de areia superficial, mantinham-se firmes, mesmo que abaixo houvesse uma camada de solos colapsíveis. O colchão de areia impõe um peso maior ao substituir parte do solo mole, que

comprometeria a estabilidade. No entanto, esta parte removida de consistência muito mole é a menos resistente e mais compressível, responsável pelos recalques de maior relevância.

De acordo com Faria (2014), o processo de construção inicia pela execução de diques, que irão definir os limites da área do aterro, reduzir os volumes de material utilizado e assegurar maior estabilidade durante a fase de construção. Na ausência dos diques, o controle da inclinação dos taludes torna-se muito mais complexo. Então, depois de removido o solo mole, o material de substituição é depositado e as partículas sólidas decantam-se e a água, caso o aterro se encontra delimitado pela costa e respectivos diques, é removida ou conduzida para fora do aterro através de um sistema de drenagem próprio.

E completa, durante o descarregamento da areia, pode haver a mistura com o solo mole, isto pode conduzir a uma alteração das propriedades do aterro. Com o intuito de minimizar este efeito uma das medidas que deve ser tomada é a redução da espessura durante a construção de cada camada e da altura de queda do material.

Deve ser ter atenção quanto à granulometria da areia, quanto mais variada for, ou seja, com maior presença de finos, garantirá elevados níveis de resistência. No entanto, quando o material é descarregado, parte da fração fina fica retida entre a fração mais grossa, mas a maior parte fica em suspensão. Havendo parte significativa do material que foi descarregado em suspensão e perante as movimentações de massas, pode ocorrer a migração desta fração para outras zonas do aterro. Assim, o aterro irá apresentar resistências diferentes por zonas, devido à porcentagem de finos depositados, logo haverá distintos graus de eficiência da estrutura (FARIA, 2014).

Outro cuidado em relação à fração fina do solo advertido por Faria (2014) deve-se a descarga do material, caso o tempo de despejo num único local seja prolongado, causará o surgimento de camadas de material fino relativamente bem definidas ao longo do aterro construído. Portanto, é necessária uma descarga distribuída e de modo contínuo para evitar o surgimento dessas camadas.

Segundo Oliveira (2006), as vantagens dessa técnica são a redução e homogeneização das tensões induzidas sobre a fundação durante a fase construtiva. Isto ocorre devido à deposição subaquática do material arenoso, que leva a diminuição inicial do seu peso específico, e a redução significativa dos desníveis na superfície do aterro, logo reduz as tensões cisalhantes à fundação. Outra vantagem é ausência de equipamento de terraplenagem convencional trafegando nas camadas

iniciais dos aterros, o que evita as tensões concentradas sobre a fundação mole.

Este método, hoje consolidado, já foi utilizado em diversos locais da costa brasileira, como na Praia de Copacabana/RJ, na Via Expressa Sul e no aterro da Baía Sul em Florianópolis/SC e, principalmente, na Baixada Santista/SP.

Figura 13 - Aterro Hidráulico do alargamento da Praia de Copacabana - RJ



Fonte: Decourt (1970)

3 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo está localizado no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda com sede no município Capivari de Baixo – SC, no entanto a expansão territorial do complexo ultrapassa os limites do município. Desta forma, o aterro analisado se localiza em Tubarão, cidade vizinha a Capivari de Baixo, e será o município base deste trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TUBARÃO – SC

O município de Tubarão está situado na região sul do estado de Santa Catarina, na latitude de 28°28'00"S e na longitude de 49°00'25"W de Greenwich. Está a 140 km ao sul de Florianópolis, 57,2 km ao norte de Criciúma e 336 km ao norte de Porto Alegre, conforme os dados da Prefeitura Municipal de Tubarão (2014). Conforme localização, Figura 14.

A altitude média é de 9 metros acima do nível do mar e o ponto culminante é o morro do Martinelli, com 540 metros (Rio do Pouso Alto).

O rio Tubarão é o principal curso d'água do município, possui uma seção média de 115 m de largura, uma profundidade que varia de 2 a 10m e uma vazão de 5,2 m³/s. Outros rios que cortam o município de são Capivari, Corrêas, Rio do Pouso, Alto Pedrinhas, Caruru, Ilhota e Congonhas.

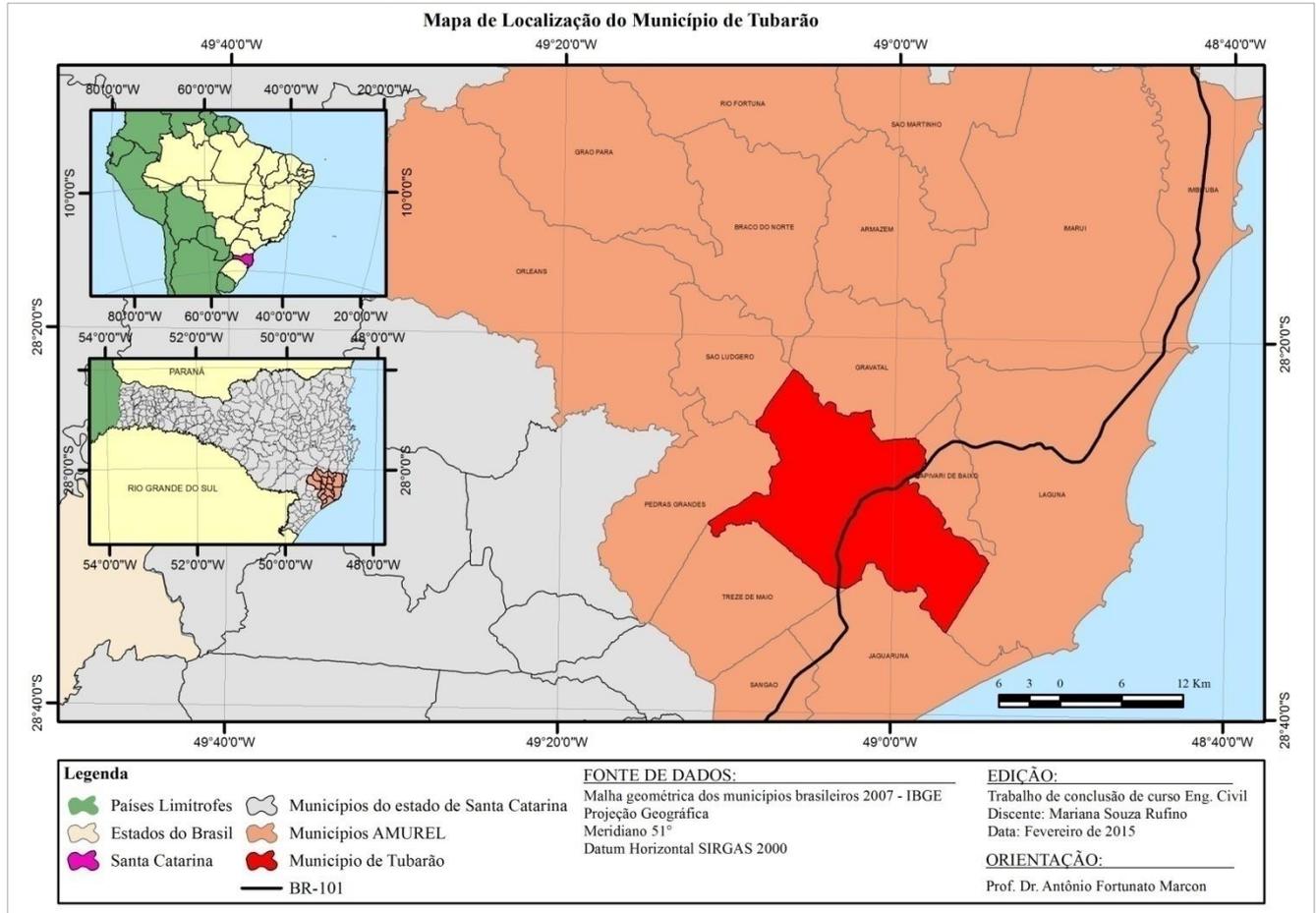
Os limites políticos são: ao norte Gravatal e Capivari de Baixo, ao sul Treze de Maio e Jaguaruna, ao leste Laguna e oeste Pedras Grandes e São Ludgero.

Segundo dados do IBGE (2014) a população está estimada em 102087 habitantes e área do município de 301,755 km².

3.1.1 Clima

Segundo Higashi (2006, p.201), o município tem “temperatura média anual de 19,5° C, e umidade relativa do ar anual de 80% a 85%. A precipitação média anual é de 1.493cm³, sendo abril e maio os meses de menor precipitação, e novembro e dezembro os de maior precipitação”.

Figura 14 - Mapa de localização do município de Tubarão



Fonte: Autor.

3.1.2 Geologia

Na Carta Geológica do Estado de Santa Catarina, folha de Criciúma, escala 1:250.000, desenvolvido pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), foi possível identificar em Tubarão, em maior presença, Granito Imaruí-Capivari, Depósito do Sistema Laguna-Barreira Pleistocênica e Depósitos Fluviodeltaico-Marinheiros, conforme Figura 15.

O estudo de Higashi (2006) que analisava o uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG, aplicado ao município de Tubarão, também utilizou da mesma fonte de dados para definição do mapa geológico da cidade.

Granito Imaruí-Capivari (Ni): constituída por sieno e monzogranito, de cor cinza a rosa, de textura porfirítica, granulação grossa à média, com fenocristais de feldspato alcalino em abundância e, em menores proporções, fenocristais de plagioclásio e quartzo.

Depósito do Sistema Laguna Barreira Pleistocênica: constitui em unidades Praiais Marinheiros e Eólicos (QPb), são areias quartzosas, de granulometria fina a média, de cor amarelo-claras a acastanhadas que são originadas em ambiente praias e marinho raso, recobertas de areias quartzosas resultantes de sedimentação eólica.

Depósitos Fluviodeltaico-Marinheiros (QHfd): são lamas, areias biodetríticas, areias arcossianas e cascalhos que se interdigitam em razão dos recuos e avanços da linha de costa. Apresentam espessos pacotes de conchas calcárias subsuperficiais.

3.1.3 Pedologia

Uberti (2005), ao analisar a Região de Tubarão, descreveu que o material de origem do solo (rocha granítica, rochas sedimentares ou sedimentos recentes) e o relevo garantem a variabilidade de classes de solo encontradas na região. O contraste existente foi facilitador para a descrição dos solos. Apresentado na Figura 16, o mapa pedológico, retirado de Embrapa Solos, nota-se a presença de Argissolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico, Gleissolo Háplico e Organosso Háplico.

E completa, os Argissolos, normalmente, tem o granito como rocha de origem, de relevo fortemente acidentado, com pedregosidade e presença de afloramentos de rocha, o horizonte A proeminente ou moderado, característica comum no solo de origem granítica.

Cambissolo Háplico são encontrados em costa erosivas, medianamente profundos a profundos e sem gradiente textural. Ainda, têm cor vermelha dominante e transição difusa entre horizonte.

Na região central da cidade em direção ao sul, os Gleissolos têm maior presença, são solos com sequência incompleta de horizontes e extremamente argilosos, tonalidade escura na superfície e cinzas na subsuperfície, devido a redução dos compostos de ferro.

Nas planícies costeiras entre Tubarão e Gravatal, a presença de Organossolos (turfas) é predominante, originados de sedimentos recentes. São solos orgânicos, sem desenvolvimento pedológico, mal drenados e cores pretas que evoluem para marrom.

Um detalhamento deste mapa é possível encontrar em Higashi (2006), porém somente da malha urbana do município.

3.1.4 Vegetação

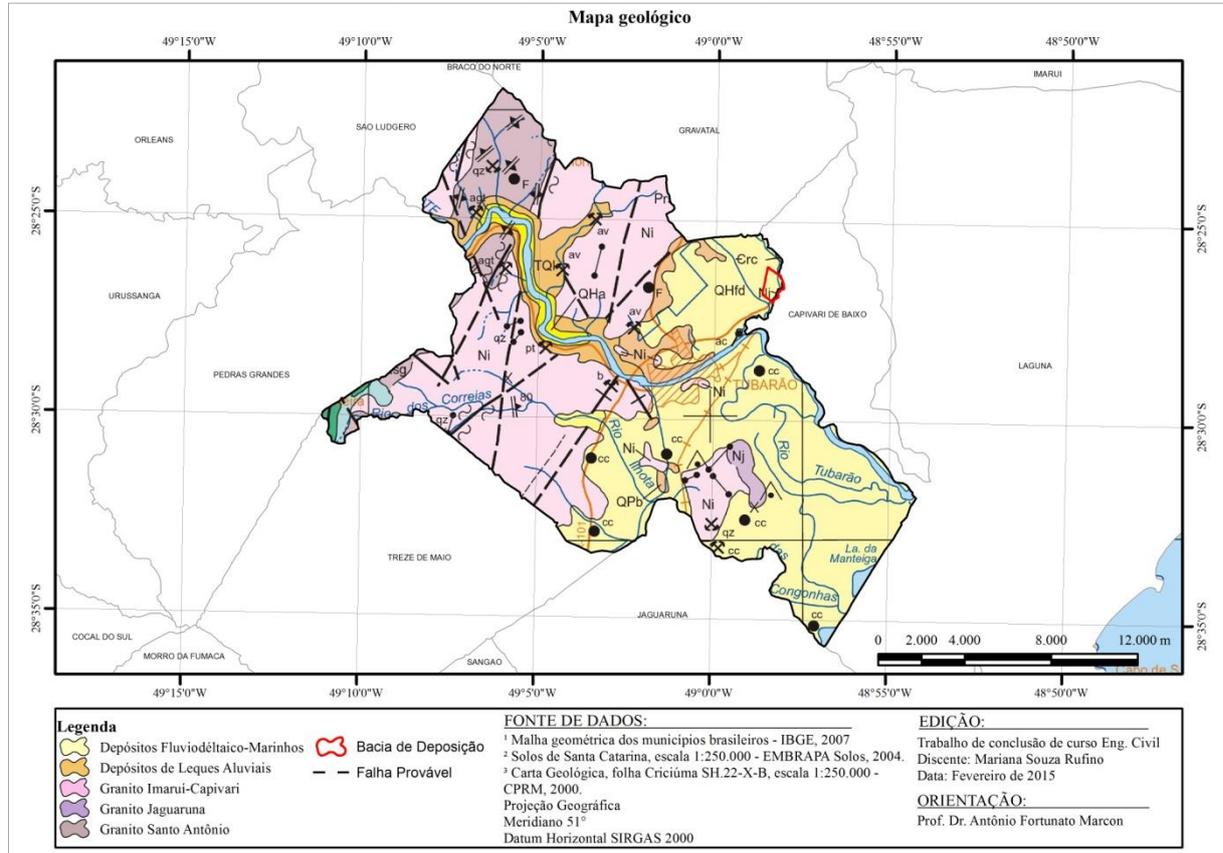
As condições climáticas, chuvas regulares ao longo do ano e estações bem demarcadas, e relevo predominado por planícies, possibilitaram a formação de uma vegetação variada. Contudo, devido à urbanização e agricultura, a atual cobertura vegetal é inferior a de décadas passadas.

De acordo com Santa Catarina (1998), a vegetação original existente na bacia do Rio Tubarão é classificada como Floresta Ombrófila Densa, devido às condições climáticas já descritas, a floresta desenvolveu-se de forma imponente, constituída por árvores vigorosas com largas copas, que resultam em uma cobertura fechada. As condições ambientais favoreceram para suas variações na sua composição florística e fisionômica, que são identificadas por duas importantes formações.

Formação das Terras Baixas: ocorre até altitudes de 30 metros, em áreas de sedimentos aluvionares e relevo plano, de drenagem lenta. Composição florística observa-se: figueira, camboatá e canela amarela, em locais de solo arenoso e o lençol freático superficial; já o ipê-amarelo e a gerivá ocorrem nas áreas mais úmidas e de difícil drenagem; em áreas drenadas, baguaçu, peroba e palmitero.

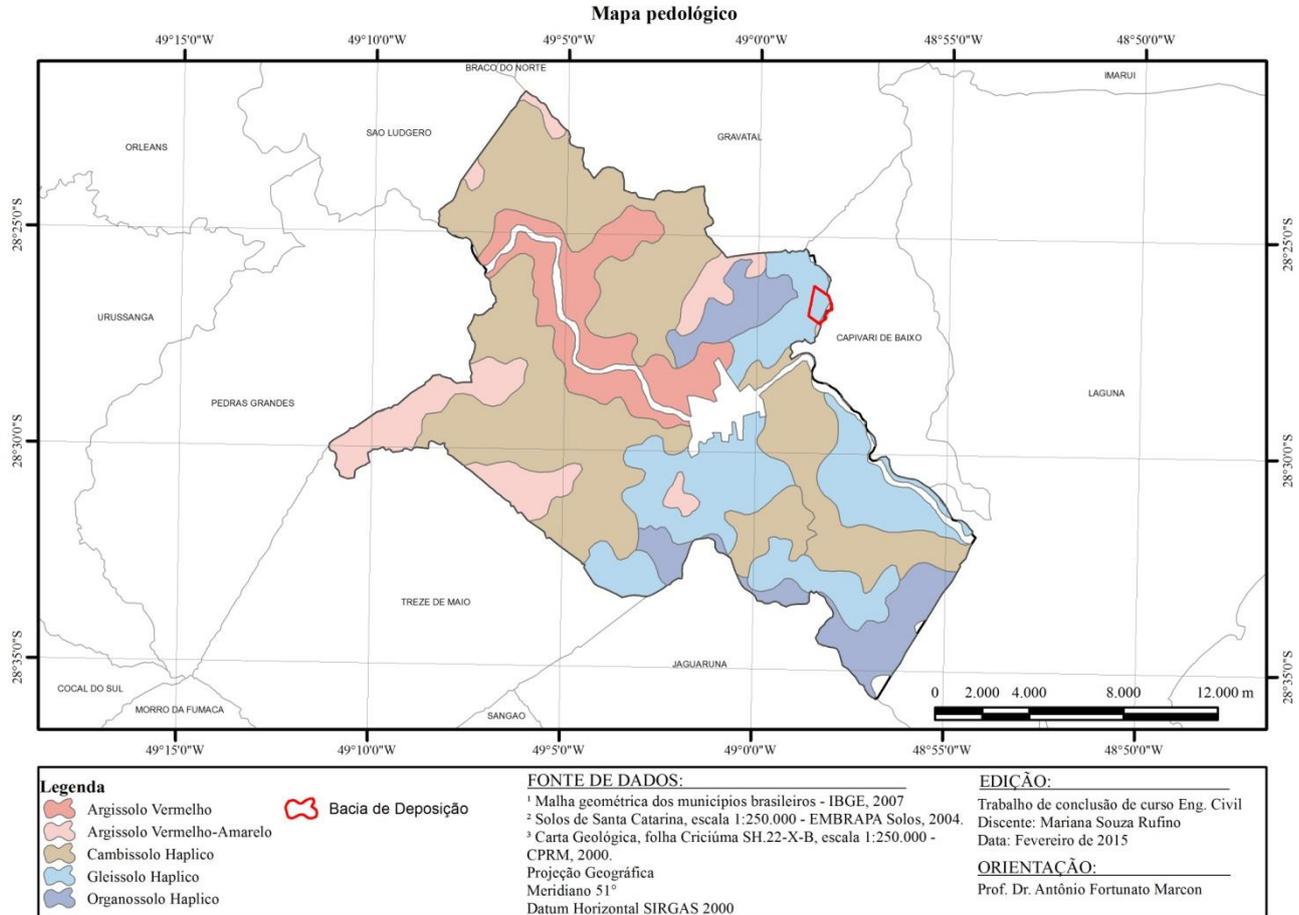
Formação Sub-montana: localiza em área que as altitudes estão entre 30 m e 400 m, se estende desde as planícies até solos profundos, há o predomínio da canela-preta, aguai, peroba, baguaçu e palmitero.

Figura 15 - Mapa geológico do município de Tubarão



Fonte: Autor.

Figura 16 - Mapa pedológico do município de Tubarão



Fonte: Autor.

3.2 COMPLEXO TERMELÉTRICO JORGE LACERDA

O Complexo Termelétrico Jorge Lacerda está localizado no município de Capivari de Baixo – SC. É formado por três usinas térmicas, com potência total de 857 MW, sendo o maior complexo termelétrico à carvão, em capacidade de produção de energia, da América Latina. A empresa Tractebel Energia assumiu seu controle em 1998, por meio de privatização. Atualmente, é uma das principais empresas privadas do País que atua na implantação e operação de usinas; sua capacidade de produção representa 7% da eletricidade gerada no Brasil e principais clientes são distribuidores de energia e indústrias. A sede da empresa está localizada em Florianópolis – SC (TRACTEBEL, 2014).

3.2.1 Breve Histórico

A existência de carvão mineral as margens do Rio Tubarão já era sabido desde o início do século XIX, no entanto, primeiros estudos apontaram para um carvão de baixo poder calorífico, conhecido com carvão-vapor. Um segundo tipo de carvão, denominado carvão metalúrgico, é possível encontrar na costa catarinense, porém em menor volume, considerado de alta qualidade e utilizado na indústria siderúrgica.

Em 1946, entrou em operação o Lavador de Capivari, pertencente à Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, que beneficiava o carvão que era extraído da região de Criciúma, em virtude do alto teor de impurezas. A Usina Jorge Lacerda surgiu para usufruir o excedente do carvão extraído, apenas 15% era considerado carvão metalúrgico, o restante era carvão-vapor que poderia ser usado na termelétrica (GOULARTI e MORAES, 2009).

De acordo com Farias (2004) a Usina Termelétrica Jorge Lacerda entrou em operação em julho de 1965, com potência instalada de 50MW. No ano seguinte, entrou em atividade outra unidade, com a mesma capacidade de produção de energia. Em 1972, já operava quatro unidades, como capacidade de 232 MW. Durante o II PND (Plano Nacional de Desenvolvimento), entre 1975 e 1978, foram construídas mais duas unidades, de 267 MW. Em 1997, a última unidade capaz de gerar 357MW entrou em operação.

Em 1997, a Eletrosul, empresa estatal que administrava o complexo, foi dividida em duas empresas: a Gerasul, responsável pela geração, e a Eletrosul, responsável pela distribuição de energia. No ano seguinte, a

Gerasul foi vendida a Tractebel Energia, empresa controlada pelo International Power - GDF SUEZ, grupo empresarial francês, que atua mundialmente no setor de energia (TRACTEBEL, 2014).

3.2.2 Antiga Bacia de Cinzas do CTJL

A antiga bacia de cinza é o local de deposição dos rejeitos oriundos da queima de carvão da usina. Segundo Silva *et al.* (2013), está localizada as margens da BR 101, km 329, coordenadas 28°26'52.72"S e 48°58'29.54"O, município de Tubarão - SC, em uma área de aproximadamente 30 hectares.

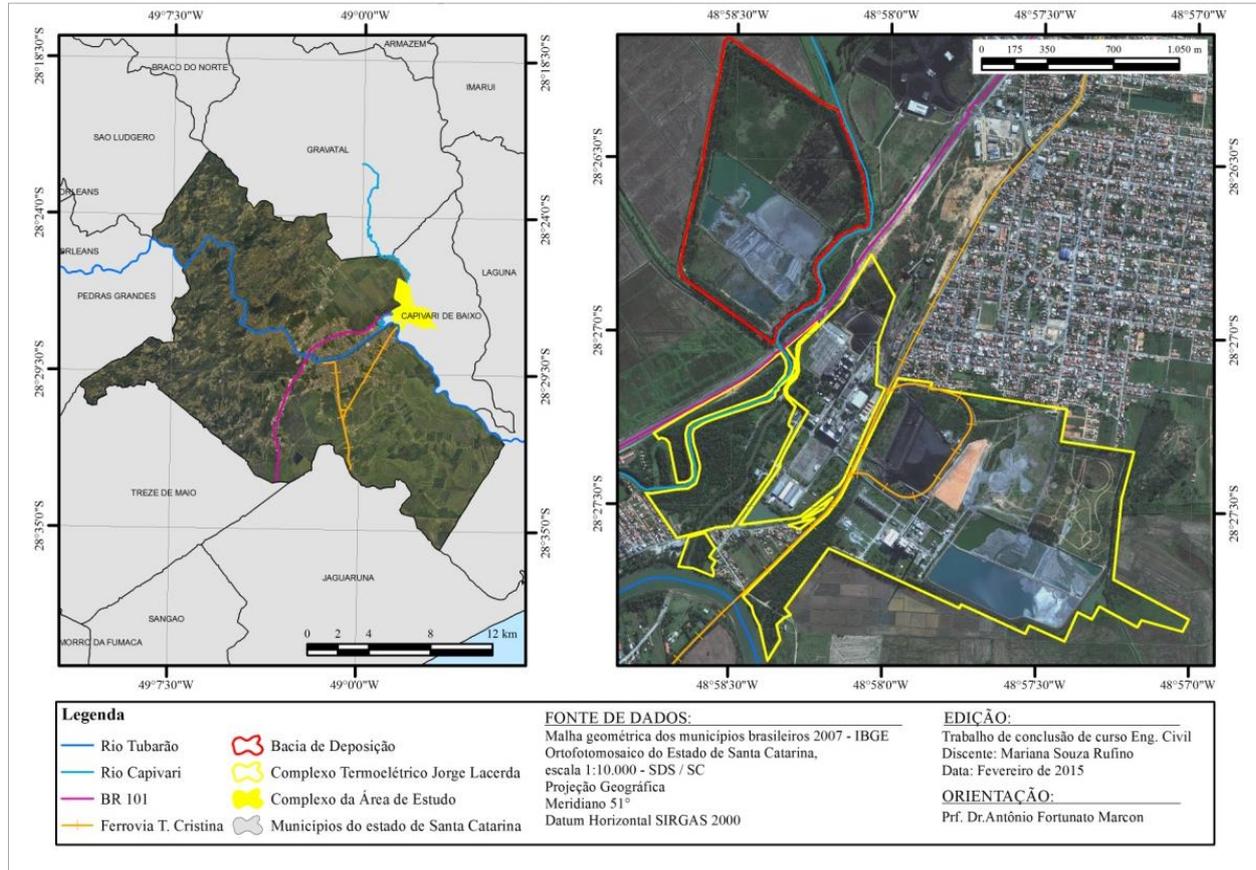
A localização da bacia está demarcada na Figura 17 em vermelho, o traçado de cor amarelo representa o limite do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Observa-se, em azul claro o rio Capivari que é o divisor territorial dos dois municípios, portanto o complexo tem sede em Capivari de Baixo (a direita da imagem), mas a área em questão pertence a Tubarão (à esquerda). Também, vê-se a BR 101, cor magenta, importante rodovia litorânea que interliga o norte e o sul do país. E a Ferrovia Teresa Cristina, em laranja, principal via de escoamento para o carvão explorado na Região de Criciúma até os portos de Laguna, outrora, e de Imbituba.

Este local encontra-se as margens do Rio Capivari que pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão. De acordo com Santa Catarina (2002), esta bacia possui diferentes depósitos que representam recuos e avanços da linha de costa, ocorridos há mais de 120.000 anos. Os depósitos são de origem fluvial, deltaica e lagunar, que se mesclam, constituindo um conjunto sedimentar complexo.

Este tipo de depósito é constituído de solos orgânicos (moles) que são formados pela mistura homogênea de matéria orgânica decomposta e de elementos de origem mineral, apresentando geralmente cor preta ou cinza-escuro, segundo a NBR 6502 – Rochas e solos (ABNT, 1995). São comumente encontrados no litoral brasileiro e apresentam elevados índices de vazios, conseqüentemente, possuem alta compressibilidade e permeabilidade.

Os rejeitos gerados começaram a ser depositados na década de 70, sobre o solo natural limitados por dique de argila. As cinzas eram lançadas por via hidráulica, decantadas e captadas para serem reutilizadas como aterro. Em meados da década de 1980 surgiram leis ambientais que regulamentava a degradação do meio. A partir de 2000 a área passou a ser desocupada, pois não havia as condições ideais para armazenamento de cinza, conforme a legislação vigente.

Figura 17 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autor.

Até 2010 a área estava desocupada, iniciou-se o projeto de pesquisa para construção da usina fotovoltaica e eólica, no intuito de investir em alternativas de geração de energia de recursos naturais renováveis.

A **Usina Solar Cidade Azul** iniciou sua atividade em agosto de 2014, com capacidade de gerar 3,0 MW, é a maior usina fotovoltaica do país. De acordo com Silva *et al.* (2013), o objetivo do projeto é investigar o desempenho de diferentes tecnologias sob condições climáticas distintas, no intuito de ampliar a utilização dessa fonte de energia, portanto serão implantados mais 8 módulos de avaliação com 77 kW cada, em diferentes regiões do Brasil. O projeto foi realizado pela Tractebel Energia em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e demais empresas, é um P&D – Programa de Pesquisa e Desenvolvimento regulamentado pela ANEEL, que incentiva a busca por inovações tecnológicas do setor elétrico.

A **Usina Eólica** que está em fase de comissionamento, foi uma parceria entre Tractebel Energia e WEG Equipamentos Elétricos, trata-se de um aerogerador protótipo com capacidade de 2,1 MW. O segundo aerogerador está em fase de projeto, tem potência nominal de 3,3 MW, é o primeiro com tecnologia genuinamente brasileira e, com isto, visa reduzir os custos de implantação para projetos futuros.

3.2.2.1 Caracterização da Antiga Bacia de Cinzas

Ao analisar a Figura 17 - Mapa de localização da área de estudo, conclui-se que o local de pesquisa é parte integrante da microbacia da margem direita do Rio Capivari, situada na porção nordeste do município de Tubarão, possuindo como drenagem principal os rios Capivari e Tubarão. Portanto, está sobre influência do mesmo clima predominante do município de Tubarão.

Segundo Tominatti *et al.* (2009) a área apresenta sedimentos aluvionares recentes e incosolidados, arenosos, sílticos e argilosos, com seixos, cascalhos e matações, de idade quarternária. E, a partir de sondagens puderam constatar que as cinzas encontravam-se numa profundidade de aproximadamente 7m e que o solo natural sob este aterro é argilo-arenoso bruno muito escuro, com presença de matéria orgânica, na cota máxima de 3 m.

Segundo Rufino *et al.* (2013), a cota do terreno natural não ultrapassa os 3 m, ao nível do mar, dessa forma, a vegetação original era Floresta Ombrófila Densa, formação das Terras Baixas. Atualmente, a

área apresenta-se ambientalmente alterada, já que se trata de uma antiga bacia de depósito de cinzas, assim não apresenta vegetação arbórea e/ou arbustiva. Porém, mencionaram que em seu entorno possui uma cortina vegetal de porte, constituída de espécies exóticas cujo objetivo é reter o arraste eólico das cinzas, onde se destaca o gênero *Eucalyptus*.

3.2.3 Armazenamento das cinzas no CTJL

Silva *et al.* (2013), relata que a produção das cinzas geradas no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda é estimada em 223 t/h. Segundo Pozzobon (1999), para cada 100 toneladas de carvão mineral consumidas no CTJL são geradas 42 toneladas de cinzas no total, das quais 70% é cinzas leves e 30%, cinzas pesadas. O armazenamento das cinzas no CTJL é diferenciado entre os dois tipos.

As cinzas leves, após recolhidas das chaminés por precipitador eletrostático, são depositadas em silos e parte é vendida para uso na fabricação de cimentos pozolânicos.

As cinzas pesadas, após fragmentação dos grumos, são bombeadas por arraste hidráulico até as lagoas de decantação, permanecendo no local até o completo preenchimento dessas lagoas, então são removidas e aplicadas em área de recuperação ambiental.

A destinação correta dos resíduos sólidos é uma das ações tomadas pela empresa para diminuir os impactos ambientais gerados pela usina. Segundo Das (2011), devido ao custo elevado do descarte dos lixos, nas últimas décadas, aumentaram o interesse na utilização de materiais que antes eram rejeitados em operações de terraplanagem, tais como: cinzas pesadas produzidas pela queima de carvão, escória de cobre, rejeitos da fábrica de papel, pneus usados triturados e outros.

3.2.3.1 Aplicação da cinza em área de degradação ambiental

Segundo Borma *et al.* (2003), a cinza gerada da combustão do carvão tem teor alcalino variando de 8 a 10, portanto não possui elevada capacidade tampão (resistência à variação do pH), desta forma, não tem capacidade de neutralização da acidez nas áreas degradadas pela mineração. Mas, podem ser utilizadas no sistema de cobertura destas áreas cujo objetivo é minimizar a entrada de oxigênio e água, bloqueando o processo de formação de drenagem ácida.

Afirmam, também, que um dos métodos para projetos de recuperação ambiental, é a redução da disponibilidade de oxigênio para

os processos formadores de acidez. Essa redução é obtida mediante a utilização de coberturas, que podem ser úmidas (camada d'água) ou secas (camadas de solo e/ou materiais alternativos).

A barreira capilar, um tipo de cobertura seca, é construída por meio da colocação de uma camada de material fino sobre uma camada de material granular. Se os dois materiais estiverem na condição não saturada, a água da chuva que infiltra na cobertura tende a permanecer na camada de material fino, devido ao efeito de capilaridade. Impedindo que água infiltre nas camadas subjacentes, bloqueando o processo de formação de drenagem ácida.

Nesse método, para uma mesma tensão de sucção, a permeabilidade não saturada do material fino tende a ser maior que a do material granular, porém se a infiltração for muito elevada, a camada fina tende a saturar, levando a perda da capacidade de sucção e permitindo o fluxo de água para a camada arenosa e dessa para o interior do resíduo.

Segundo Shackelford (1997 *apud* Borma *et al.*, 2003), o efeito de barreira capilar é tanto maior quanto maior for o contraste entre as condutividades hidráulicas das camadas de solo fino e granular.

Borma *et al.* (2003) estudaram a aplicação da cinza como material granular na barreira capilar, utilizaram como amostras: as cinzas de CTJL e cinzas da Termelétrica de Presidente Médici – UTPM (Candiota/RS), e, também, amostras do solo da região carbonífera de Santa Catarina. Concluíram, através de ensaios de permeabilidade, que a cinza e o solo apresentam contraste de permeabilidade, uma das características desejáveis para o método. Além do mais, as cinzas, devido ao seu processo de produção, possuem diâmetros homogêneos, o que lhes garante elevada permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água. Portanto, todos os indicativos evidenciaram o potencial da cinza para barreira capilar.

3.3 CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA DE ACORDO COM A FONTE ENERGÉTICA

A energia, nas suas diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. O ser humano mais que sobreviver, buscou evoluir e descobrir novas fontes e formas alternativas de se adaptar ao meio em que vive dessa forma, a escassez de um recurso tende a ser compensada pelo surgimento de outro (ANEEL, 2002).

Este trabalho menciona três tipos de fonte energética: a solar (fotovoltaica), a eólica e a térmica por carvão mineral. A seguir serão

apresentadas suas generalidades e capacidade de geração por metro quadrado.

3.3.1 Energia Solar

A maioria das fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos) são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica e pode ser convertida diretamente em energia elétrica (fotovoltaica). No Brasil, em função das condições climáticas as regiões Sul e Sudeste utilizam o aquecimento de água e as regiões Norte e Nordeste a geração de energia fotovoltaica, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica (ANEEL, 2002).

A radiação solar definida como a energia total incidente sobre a superfície terrestre, dependente da latitude local e da posição terrestre. Sua disponibilidade terá papel fundamental para a determinação da capacidade de geração de energia solar de uma região. Assim, o índice médio anual de radiação solar no País, em watt-hora por metro quadrado ao dia ($\text{Wh}/\text{m}^2.\text{dia}$) é o parâmetro de capacidade de geração de energia de cada região.

A Figura 18 apresenta a radiação solar no país, segundo Atlas de Irradiação Solar no Brasil. Como se pode observar a região Nordeste apresenta maiores índices, com destaque para o Vale do Rio São Francisco, onde a média anual é de $6\text{kWh}/\text{m}^2.\text{dia}$. E menores índices estão no litoral Sul-Sudeste.

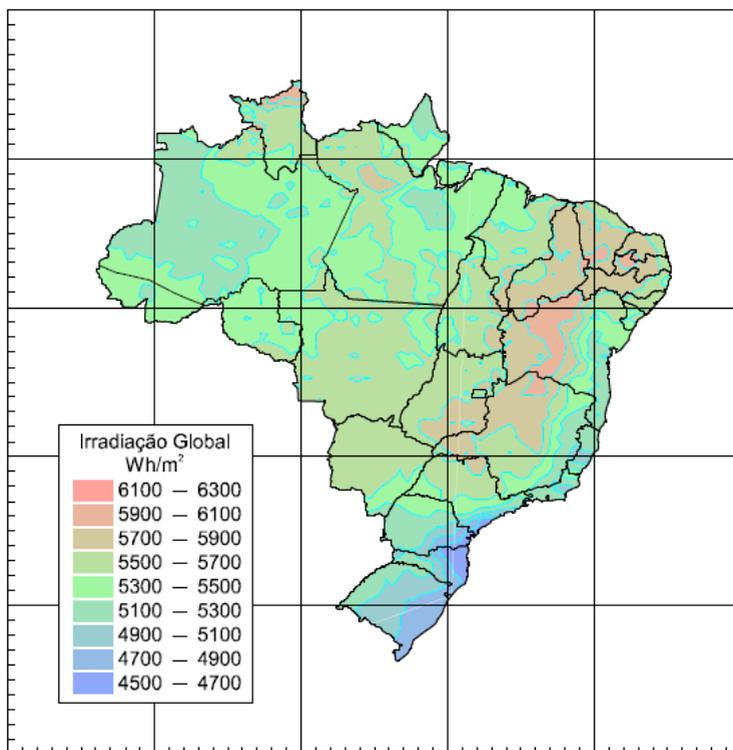
3.3.2 Energia Eólica

Define-se como energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento. A conversão de energia cinética de translação em energia cinética de rotação através de turbina eólica, denominada aerogerador produz energia elétrica (ANEEL, 2002).

Há milhares de anos a energia eólica vem sendo empregada em aplicações que envolvem energia mecânica (bombeamento d'água e moagem de grão), mas somente na década de 70 com a crise internacional do petróleo que surgiu o interesse e investimentos.

O potencial eólico de uma região requer a coleta de dados e análise sobre a velocidade e regime dos ventos. Para que a utilização de energia eólica seja tecnicamente viável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a $500\text{W}/\text{m}^2$, a uma altura de 50 metros, para tal a velocidade mínima do vento deve ser 7 a 8 m/s (ANEEL, 2002).

Figura 18 - Radiação solar no Brasil - média anual típica (Wh/m².dia)



Fonte: INMET & LABSOLAR (1998)

3.3.2 Energia a carvão

O carvão é um complexo arranjo de componentes orgânicos sólidos fossilizados, sua qualidade está determinada pela quantidade de carbono (ANEEL, 2002).

Analisando os dados da ANEEL (2014), observa-se o uso energético do carvão é bastante restrito no país, representando apenas 1,43 % da matriz energética nacional, com apenas 9 usinas gerando o equivalente a 1.530.304 KW. O interessante ao comparar com as outras fontes de energia, a geração eólica representa 0,62%, com 37 usinas que produzem 659.284 KW. E por fim, a Solar, menos de 0,01%, com uma única usina que produz 20 KW.

4 MÉTODOS E MATERIAIS

A Figura 19 resume os métodos aplicados neste trabalho.

Figura 19 - Fluxograma dos métodos utilizados



Fonte: Autor.

4.1 COLETA DE DADOS

As fontes dos dados coletados neste trabalho são descritas nos itens seguintes.

i) Fotografias aéreas

A principal fonte para desenvolvimento da pesquisa histórica advém de aerofotografias de diferentes décadas, que permitem a leitura das características originais da região, a ocupação do solo e as dinâmicas de transformação ocorrida pela implantação da Usina. São elas:

A fotografia área do ano de 1957 do Estado de Santa Catarina, na escala 1:30.000, digitalizada, obtida junto a Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina (SEPLAN).

A fotografia área do ano de 1978 do Estado de Santa Catarina, na escala 1:25.000, digitalizada, obtida junto a Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina (SEPLAN).

O Ortofotomosaico do ano 2010 do Estado de Santa Catarina, na escala 1:10.000, disponibilizada pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável e Econômico do Estado de Santa Catarina (SDS) e obtido junto à Prefeitura Municipal de Tubarão/SC.

A imagem de satélite de alta resolução ano 2014, disponibilizada pela empresa DigitalGlobe e obtida junto ao Google Earth.

ii) Fotografias terrestres

As fotografias terrestres, em sua maioria, foram concedidas do acervo da empresa Tractebel Energia S.A., outras, são de acervo pessoal desenvolvido durante a disciplina de Estágio Profissionalizante Supervisionado, realizado de maio a dezembro de 2014 na empresa.

iii) Ensaios Geotécnicos

Os ensaios geotécnicos foram realizados por diversas empresas, nos anos de 2013 e 2014, para determinação dos parâmetros geotécnicos utilizados como premissas de projeto da Usina Eólica, foram cedidos pela empresa Tractebel Energia S.A.

O

Quadro 2 apresenta os ensaios geotécnicos, seus respectivos anos de realização e empresa de executora.

Quadro 2 - Ensaios Geotécnicos

Ensaios geotécnicos	Ano de execução	Empresa executora
Análise granulométrica	2013	Geotec Sondagens
Índices de Atterberg		
Ensaio de Compactação		
Ensaio de Suporte Califórnia		
Ensaio de Dilatômetro de Marchetti	2014	Fugro
Ensaio de Placa	2014	Fudare

As sondagens realizadas estão catalogadas no Quadro 3 e foram executadas pelas empresas: Geotécnica – Geologia e Fundações, Locks Sondagens, J.B. Estaqueamentos e Geotec Sondagens, fornecidas do acervo técnico da empresa Tractebel Energia.

Quadro 3 - Sondagens executadas

Tipo de sondagem	Qtde	Ano	Empresa
Percussão	6	1984	Geotécnica
Lavagem/percussão	10	2012	Locks Sondagens
Lavagem/percussão	2	2013	J.B. Estaqueamentos
Mista (lavagem e rotativa)	2	2014	Geotec Sondagens

iv) Projeto Geotécnico da plataforma da Usina Eólica

Fornecida pelo o autor do projeto, Prof. Marciano Maccarini, PhD., o projeto está fundamentado em ensaios realizados em campo.

v) Relatórios e acompanhamento de obra

Uma das principais fontes de informações foi concedida por entrevistas realizadas a funcionários da Tractebel Energia S/A que há mais de 30 anos trabalham na usina. E o próprio acompanhamento da obra das Usinas Fotovoltaica e Eólica em seis meses de estágio.

4.2 SISTEMATIZAÇÃO DOS DADOS

Após coletados os dados foi necessário catalogá-los e dispô-los, de tal forma, que fosse possível sua interpretação.

- i) As fotografias foram apresentadas em ordem cronológica e introduzidas ao texto quando pertinente.
- ii) Os ensaios geotécnicos compilados em gráficos e locados em mapas.
- iii) As sondagens foram apresentadas em perfis estratificados.
- iv) Os relatórios foram fundamentais para a interpretação do método executivo abordado.

4.3 ANÁLISE DE DADOS

Das fotos aéreas, resultado de levantamentos feitos desde a década de 40 até o ano de 2014, foram analisadas a execução do aterro e os impactos da expansão do Complexo aos ecossistemas naturais. Através das imagens procuraram-se correlacionar as transformações espaciais com o processo histórico de desenvolvimento do município. A esta análise foram adicionadas pesquisas bibliográficas e de campo, que permitiram a reconstituição desse processo.

As consequências do aterro ao solo de base, por comparação dos perfis estratificados de períodos distintos, bem como a ratificação das Sondagens com o Ensaio de Dilatômetro de Marchetti. Foram analisados se os ensaios estavam coerentes com as normas vigentes e se os parâmetros estabelecidos em projeto foram cumpridos. Esta análise teve com fundamento as referências citadas no Capítulo 2 deste trabalho.

Por fim, foi observado o projeto geotécnico escolhido para este aterro e modo em que foi executado em campo. Para então, estabelecer a linha do tempo deste empreendimento.

4.4 DELIMITTAÇÃO DE PESQUISA

A primeira limitação a ser considerada refere-se ao cenário da pesquisa, a complexidade do processo do aterro que não possui um acompanhamento quantitativo das cinzas, ou de seu manejo.

Outro aspecto refere-se à quantidade de amostras, principalmente, realizadas em décadas passadas, não foi possível encontrar ensaios geotécnicos na área de estudo, exceto os ensaios de sondagens. Fato justificado, por ser uma local de depósito, ou seja, não era uma área estratégica para a empresa.

A realização das sondagens por empresas diferentes contribuiu para uma possível desuniformidade da significância nos resultados obtidos, devido as diferentes técnicas de perfuração, equipamentos e procedimentos de ensaios em decorrência de fatores locais, alteração na norma regulamentadora do procedimento de ensaio e do grau de desenvolvimento tecnológico, em razão da discrepância temporal.

Observa-se que a obra da Usina Eólica era uma parceria entre a empresa WEG Equipamentos Eletrônicos e Tractebel Energia. Salienta que a execução da torre era responsabilidade da WEG, empresa com a qual não foi estabelecido contato, assim algumas informações deixaram de ser transmitidas.

5 RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho têm por objetivo descrever o desenvolvimento do aterro: os ensaios realizados, os métodos executivos empregados e outras intervenções efetuadas na área de estudos. Assim, apresentam-se os resultados com a seguinte estrutura:

- i) Descrição da análise histórica progressiva, por fotografias aéreas desde antes de a usina entrar em operação até os dias atuais.
- ii) Apresentação dos perfis estratigráficos que foram baseados nas sondagens. Por eles, foi possível analisar a ocorrência do adensamento do material de fundação.
- iii) Relação dos parâmetros geotécnicos encontrados nos ensaios durante as fases de projeto e execução da obra. Caracterização dos ensaios e análise do projeto concebido em comparação com o executado, através do acompanhamento da obra.
- iv) Apresentação da linha histórica do aterro, no intuito de promover uma visão global da área de estudo.

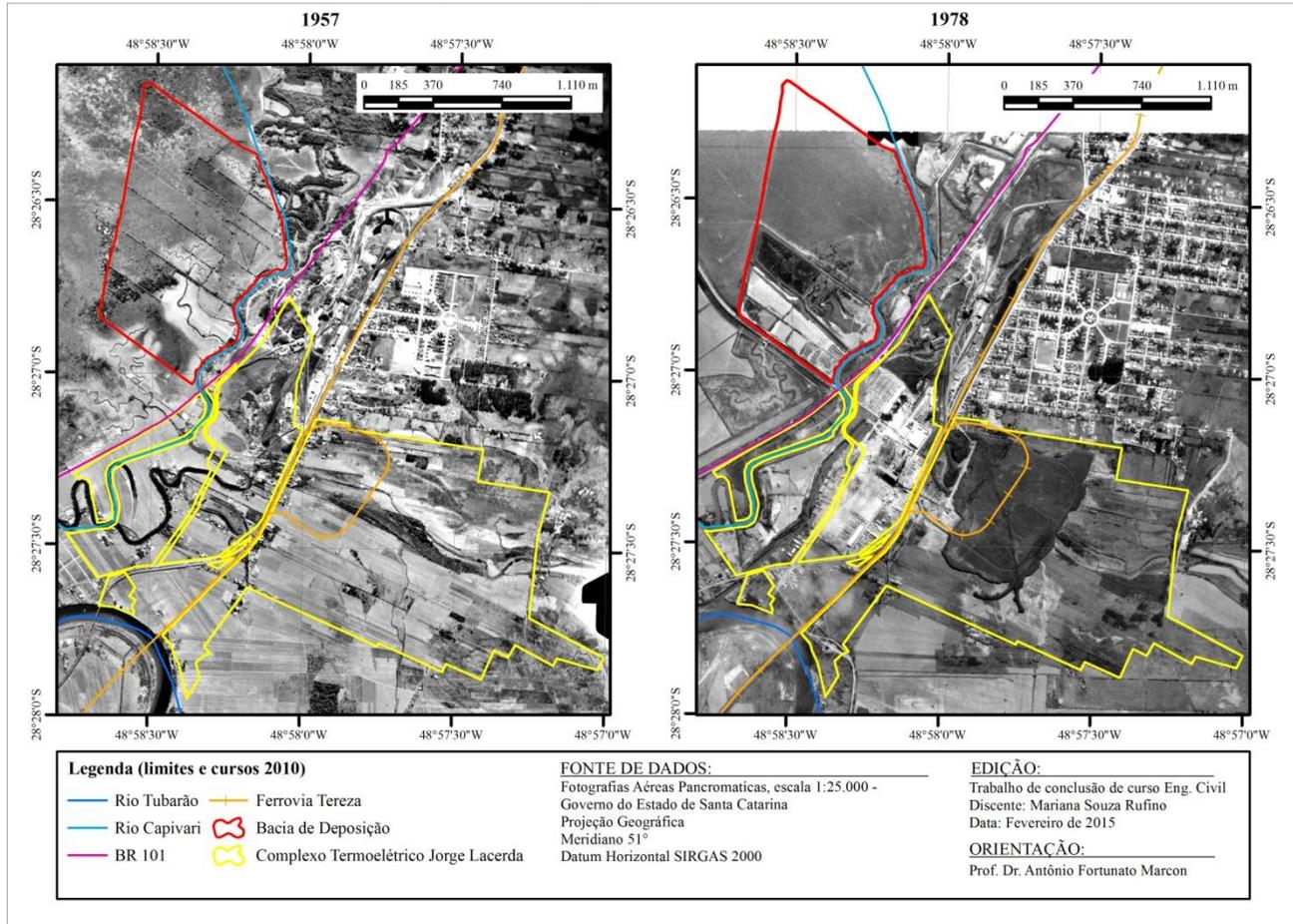
5.1 ANÁLISE HISTÓRICA PROGRESSIVA

O objetivo é analisar historicamente a cronologia do aterro da Antiga Bacia de Deposição de Cinzas do CTJL, resgatando o processo de construção e apontando a relação da usina com o meio. A interpretação das fotografias compreende observar as ações sociais sobre o espaço, movidas por interesses específicos e condicionadas por fatores geográficos. Serão analisados os seguintes marcos:

- i) Período antes da implantação da Usina;
- ii) Período após a implantação da Usina;
- iii) Período de desativação da Bacia de deposição de cinza;
- iv) Situação atual da antiga bacia, atual: Usina Eólica e Fotovoltaica;

As imagens serão analisadas em ordem cronológica, a Figura 20 apresenta as fotografias aéreas de 1957 e 1978; A Figura 28, as de 2010 e 2014 do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.

Figura 20 - Fotografias aéreas de 1957 e 1978



Fonte: Autor.

5.1.1 Período antes da implantação da Usina

5.1.1.1 Área de Estudo: Propriedade particular destinada à rizicultura

A usina é datada de 1965, portanto em 1957, o local ainda não era utilizado como depósito de cinzas, mas já apresentava sinais de modificação antropológica, pois não possui mais sua vegetação original e era aproveitado para rizicultura. Os gleissolos, solos predominante nesta região, possuem condições ideais para esta prática agrícola, uma vez que favorecem a formação de lâminas d'água, com menor consumo desse recurso natural.

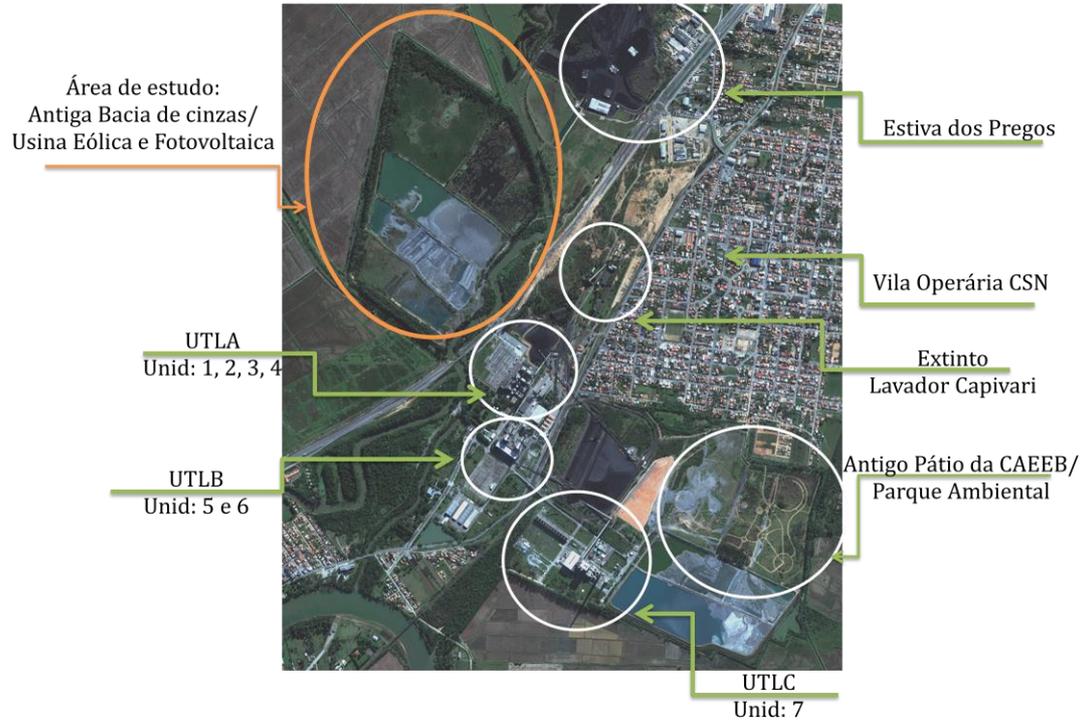
5.1.1.2 A Usina e seu entorno

Para melhor compreensão do que será descrito a seguir, a Figura 21 mostra o croqui de determinadas localidades do município de Capivari de Baixo.

As localidades apresentadas do CTJL são: em destaque, a Área de estudo que era uma Bacia de Depósitos de Cinza e que atualmente é ocupada pela Usina Eólica e Fotovoltaica. A Unidade Termelétrica A – UTLA compõe-se das quatro primeiras unidades do complexo, capacidade de 232 MW. A Unidade Termelétrica B – UTLB são as duas unidades construídas na década de 80, com capacidade de 267 MW. A Unidade Termelétrica C – UTLC é a última unidade a entrar em operação na década de 90, com capacidade de geração de 363 MW.

As localidades do município de Capivari de Baixo são: Estiva dos Pregos, antigo local de depósito de carvão, propriedade de empresa de mineração, que está em fase de recuperação ambiental. Vila operária e o Lavador Capivari, obras executadas pela Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, na década de 40. E antigo pátio da Companhia Auxiliar de Empresas Elétrica Brasileira – CAEEB, atual Parque Ambiental Tractebel Energia. Estas obras serão detalhadas posteriormente.

Figura 21 - Croqui de localidades de Capivari de Baixo



Fonte: Autor.

A Ferrovia Teresa Cristina, instalada em 1884, foi construída para servir de interligação entre as jazidas de carvão da Região de Criciúma e com os portos de Laguna e Imbituba. Até a implantação do lavador, a estrada de ferro não provocou mudanças substanciais na estrutura econômica do município, que se baseava economicamente da agricultura local, pois não havia mercado consumidor para exportar sua produção excedente.

A partir da instalação do Lavador Capivari – CSN, especializado em beneficiamento do carvão metalúrgico, em 1942, a pequena comunidade agrícola passou por profundas transformações. A execução da Vila Operária de Capivari, realizada pela CSN, possuía saneamento básico e infra-estrutura inédita na região como, água encanada e tratada; esgoto pluvial e residencial com sistema de tratamento, energia elétrica, ruas planejadas, praças e áreas de lazer.

A escolha de instalar o Lavador em Capivari teve três motivos. Primeiro, necessitava de um grande volume de captação da água, o curso do Rio Tubarão tem maior vazão após o deságue do Rio Capivari; segundo, é estrategicamente posicionado na metade do caminho entre a região carbonífera e o porto; por fim, em Tubarão havia a junção dos dois ramais da Estrada de Ferro que advinham de Criciúma e Lauro Muller, transportando carvão destas localidades.

Os cursos d'água, Rio Tubarão e Rio Capivari, possuem seu traçado original.

Figura 22 - Construção do Lavador Capivari



Fonte: Joaquim Pereira (1943, *apud* Becker, 2009)

5.1.2 Período após a implantação da Usina

5.1.2.1 Área de Estudo: Bacia de depósitos de cinzas

A partir da década de 70, a área estudada foi limitada por diques de argilas, altura entre 4 e 4,5m, e passou a receber depósitos de cinza por bombeamento. Em função disso, pode ser caracterizado como um aterro hidráulico, porém não possuía cuidados para uma real execução deste tipo de aterro, como por exemplo, a distribuição homogênea do material ou altura controlada. Nesta época utilizava tubos de PVC, para o manejo das cinzas. Cada segmento da bacia possui um local deságue de cinza e um de saída da água com vertedouro, posicionados em maior altitude, para que a cinza decantasse e apenas água fosse para o rio.

No segundo plano da Figura 23 é possível observar a vegetação rasteira sendo suprimida por cinza pesada, e da Figura 24 não haver mais vegetação apenas o espelho d'água da bacia. A UTLA em operação e o começo da construção das unidades 5 e 6 (UTLB).

Figura 23 - CTJL início da década 70, bacia ao fundo



Fonte: Cabral (2008)

Figura 24 - UTLA em operação e canteiro da UTLB, no primeiro plano, e Antiga Bacia de deposição de cinzas em segundo plano



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (1976)

A lâmina d'água que se observa nas imagens da bacia, é de precipitação ou do arraste hidráulico, portanto não são remanescentes das águas utilizadas nos condensadores da Usina, estas são despejadas no Rio Capivari e Rio Tubarão por canal de fuga.

Em 1978, foi construído um segundo dique ao redor da bacia, com base maior, para atingir uma cota de 6 m. O objetivo da execução deste foi garantir maior estabilidade para o primeiro, que devido a fundação de baixa capacidade de suporte ocorria rupturas localizadas. Também, para dar maior isolamento à bacia, que durante a enchente de 1974 foi invadida. Assim, este segundo dique trabalha com uma berma para o primeiro, entre os diques passa o canal evasão da água das bacias.

A região de Tubarão apresenta terrenos de solos moles, de cotas baixas, com nível do lençol freático próximo a superfície. Inúmeras vezes, foi solicitado à utilização da cinza para aterros, porém esta prática só pode ser realizada com a autorização da FATMA, órgão ambiental.

5.1.2.2 A Usina e seu entorno

A abertura da usina, em 1965, deu um novo rumo para o município, conforme mostra na Figura 25, em 1964, durante fase de construção, já apresentava um número considerável de residências.

Figura 25 - UTLA - Unidades 1 e 2



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (1964)

Na Figura 26 apresenta a primeira ampliação da usina. Em 1972, as quatro unidades já estavam em operação.

Figura 26 - UTLA - Canteiro das Unidades 3 e 4



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (1971)

No final da década de 70, a usina já possuía seis unidades em operação e as consequências de sua implantação já reflete na fotografia aérea de 1978.

Observa-se um imenso pátio de carvão, da extinta CAEEB (Companhia Auxiliar de Empresas Elétrica Brasileira), estes depósitos a céu aberto, exalam um odor de enxofre, que geravam problemas de mal-estar e intoxicação aos moradores próximos, também contaminava o lençol freático.

Um das grandes obras para a implantação da usina foi a retificação do Rio Capivari, é notável sua execução ao comparar as imagens de 57 e 78 (Figura 20), isto ocorreu pelos seguintes motivos, facilitaria no escoamento da água, evitando as cheias em seus meandros, e seu traçado original interceptava o Canal de Adução da UTLA, projeto este de grande expressão que também é percebido nas imagens.

Outro detalhe remete ao Rio Tubarão, no canto esquerdo das fotografias, ele apresenta uma curvatura mais pronunciada na década de 50, essa mudança foi obra do governo, para facilitar seu escoamento. Esta foi uma medida tomada para a prevenção de cheias, pois durante a enchente de 1974, uma das razões apontadas pela demora do recuo do nível d'água foi a quantidade de meandros que o rio possuía, a qual desacelerava a velocidade de escoamento.

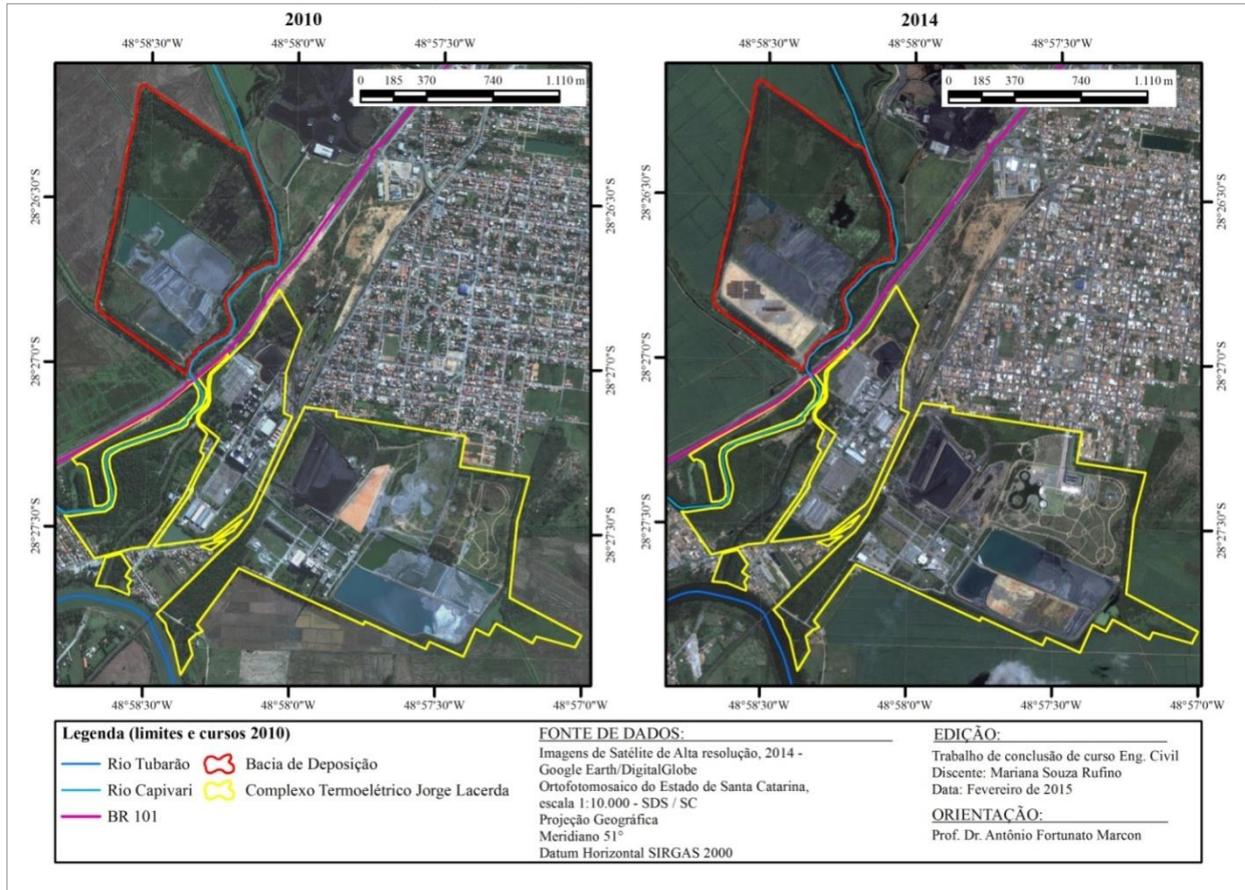
A Figura 27 apresenta o complexo no mesmo ano da fotografia aérea de 1978 (Figura 20), com os pontos citados: o pátio de carvão da CAEEB, as 6 unidades em operação, o rio Capivari e, ao fundo, a BR 101 e a Bacia de Deposição de cinzas.

Figura 27 - Vista aérea do complexo



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (1978)

Figura 28 - Fotografias aéreas 2010 e 2014



Fonte: Autor.

5.1.3 Período de desativação da Bacia de Cinza

5.1.3.1 Área de estudo: Desativação da Bacia de depósitos de cinzas

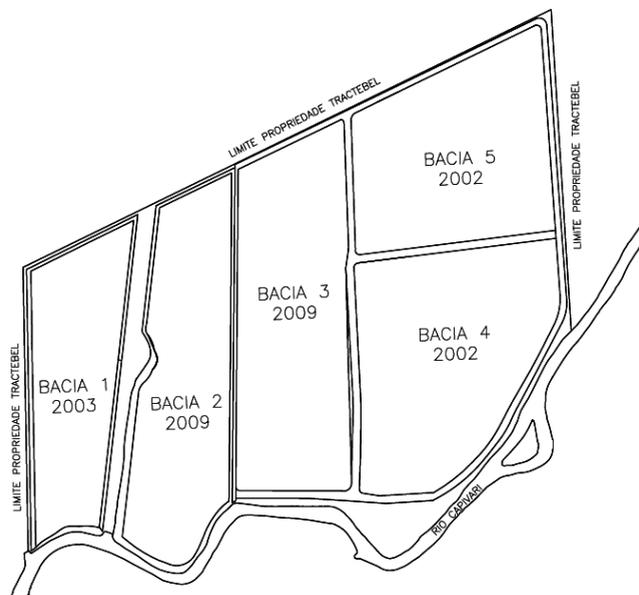
Na década de 80, foram homologadas leis ambientais que regulamentavam os impactos ambientais gerados por ações antropológicas. Também estabelecia diretrizes para combater a degradação ambiental e recuperação de áreas já degradadas.

Em virtude destas leis, em 1986, foram plantados eucaliptos ao redor da bacia, para evitar o arraste pelo vento. Outra medida tomada, foi a substituição da tubulação de PVC para os PEAD (polietileno de alta densidade), atualmente, as bacias de cinzas utilizarão tubulação de aço reforçada com basalto fundido.

Tais adequações às leis não foram suficientes para a desativação das bacias. A Figura 29 mostra os segmentos da bacia e ano de desativação. As bacias 4 e 5 foram desativadas em 2002, devido a proximidade ao Rio Capivari. Também, foi exigido uma faixa de 20 metros de vegetação para isolamento das bacias, como a bacia 1 estava numa faixa menor de 20 m do limite da propriedade, foi necessário sua desativação, para então realizar o aterro e a plantio dessa barreira natural, em 2003.

As bacias 2 e 3 permaneceram em funcionamento até 2009 e suas cinzas foram utilizadas como barreiras capilares em áreas degradadas tais como, Estiva dos Pregos e Antigo pátio da CAEEB, também na duplicação da BR 101. Todos os usos foram devidamente autorizados pelos órgãos ambientais competentes.

Figura 29 - Croqui da Bacia de deposição de cinzas e datas de desativações



Fonte: Autor.

5.1.3.2 A Usina e seu entorno

No final da década 80, a cenário político-econômico do Brasil passou por profundas mudanças, com a abertura ao mercado exterior, a indústria brasileira passou a importar carvão da Polônia, que possuía melhor qualidade e era menos oneroso. Este quadro desestabilizou o mercado interno de exploração do carvão, em 1990, por ser considerado inviável financeiramente, o Lavador Capivari foi desativado.

A partir de 1992, quando Capivari de Baixo se emancipou de Tubarão, passou por enormes transformações, os impostos que antes era redistribuído em melhorias para o município de Tubarão, concentrou-se a um município menor, hoje 70% da arrecadação tributária do município de Capivari de Baixo advém do Complexo.

Ao confrontar as imagens de 1978 (Figura 20) e 2010 (Figura 28) há uma drástica redução de depósitos de carvão, isto é resultado de políticas governamentais que acentuaram a preocupação pelo meio ambiente e também de certificados adquiridos pela Tractebel Energia de renome mundial, ISO 9001 e ISO 14001, que tem o compromisso de

manter programas de proteção, monitoramento e desenvolvimento sustentável no empreendimento.

Em 1996, a área do pátio da CAEEB, aproximadamente 47 hectares, foi recuperada através da remoção do carvão, foi utilizado cinza como cobertura seca e área foi reflorestada. Esta área na foto de 2010 (Figura 28), ao fundo da usina, com alguns caminhos de terra traçado, atualmente é o Parque Ambiental Tractebel Energia.

5.1.4 Situação atual: Usina Eólica de Fotovoltaica

5.1.4.1 Área de estudo: Usina Eólica e Fotovoltaica

Na fotografia aérea de 2014 (Figura 28) é perceptível que as bacias 4 e 5, que estão desativadas a mais tempo, tiveram as cinzas completamente retiradas e que houve a regeneração natural, ainda com espécies de vegetação rasteira.

Das bacias 2 e 3 ainda não foram retiradas completamente as cinzas, restou no depósito cerca de 30% do volume. A bacia 1 foi reaterrada para a execução da Usina Fotovoltaica e Eólica, o processo executivo será discutido no item 5.4. A Figura 30 apresenta a situação descrita.

Figura 30 - Usina Fotovoltaica



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2014)

Futuramente, parte da bacia 3, também será reaterrada para o segundo aerogerador de 3,1 MW, que tem execução estimada para 2016. A disposição dos aerogeradores foi projetada para evitar o sombreamento que a estrutura das torres pudessem ocasionar sobre painéis da usina solar, conforme Figura 31.

Figura 31 - Localização dos aerogeradores



Fonte: Autor.

5.1.4.2 Usina e seu entorno

A diferença de apenas quatro anos entre as fotografias (2010 e 2014) da Figura 28, poucos aspectos mudaram no município. Destaca a implantação do Parque Ambiental Tractebel Energia em 2013, onde a população pode usufruir de espaços de lazer, cultural e educação ambiental, apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Parque Ambiental Tractebel Energia



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2013)

5.2 ANÁLISE DOS PERFIS ESTRATIGRÁFICOS

As sondagens foram realizadas em épocas e empresas distintas, conforme apresenta a Figura 33.

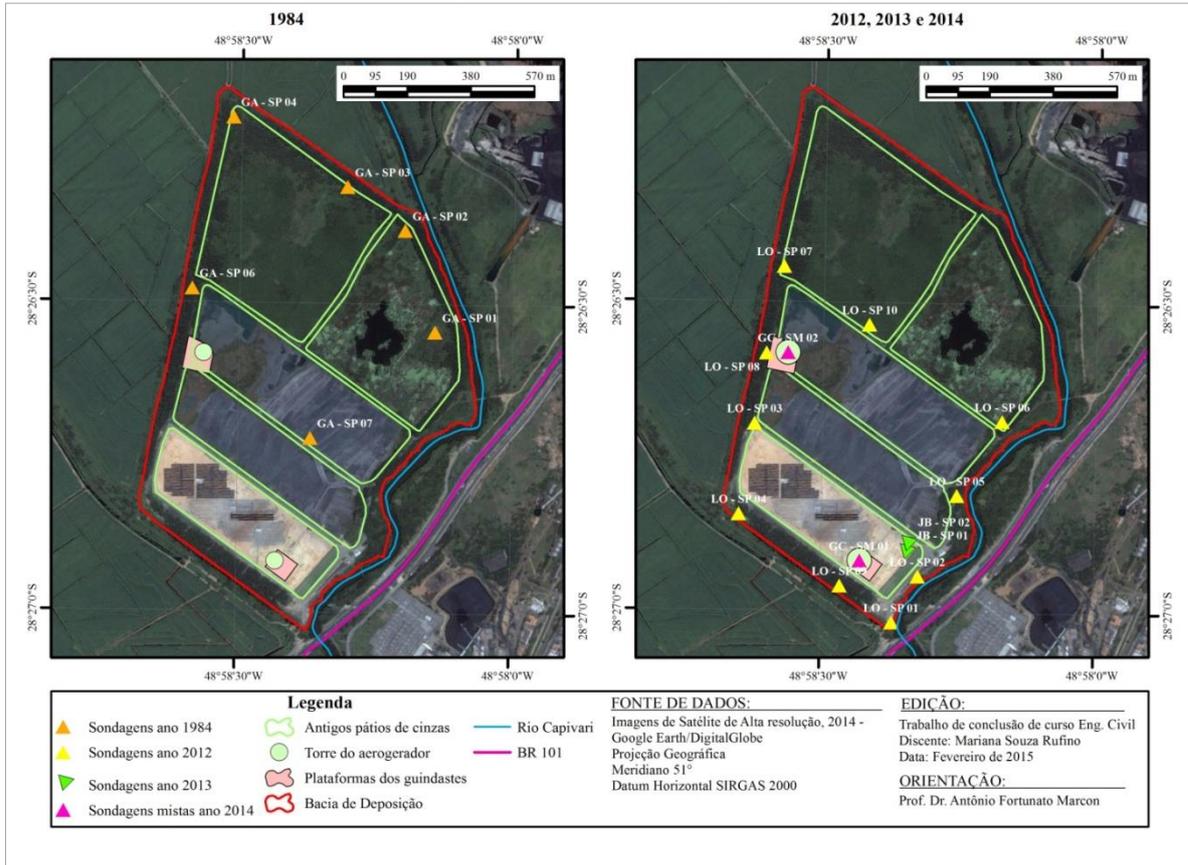
As sondagens de 1984 foram realizadas pela empresa Geotécnica – Geologia e Fundações. As sondagens recentes foram executadas para determinação de parâmetros de projeto para execução da Usina Eólica e Fotovoltaica, as sondagens de 2012 foram realizadas por Locks Sondagens, as de 2013 pela empresa J.B. Estaqueamentos e as 2014 pela Geotec Sondagens, todos os relatórios de sondagens estão no anexo A.

O Quadro 4 apresenta as siglas de identificação e representação gráfica de cada empresa executora de SPT, apresentadas na Figura 33.

Quadro 4 – Perfis de sondagens da Figura 33

Tipo de sondagem	Qtde	Ano	Empresa	Sigla	Símbolo
Percussão	6	1984	Geotécnica	GA	▲
Lavagem	10	2012	Locks Sondagens	LO	▲
Lavagem	2	2013	J.B. Estaqueamentos	JB	▲
Mista (lavagem e rotativa)	2	2014	Geotec Sondagens	GC	▲

Figura 33 - Pontos de sondagens



Fonte: Autor.

O objetivo da compilação destes relatórios é analisar desempenho geotécnico do solo da fundação da bacia e do corpo do aterro no decorrer do tempo, para tal serão realizadas as seguintes análises:

- i) Confrontamento dos perfis de sondagens: GA - SP 06 e LO SP 07, que são de épocas diferentes, mas possuem localização próxima, conforme observado na Figura 33.
- ii) Análise dos perfis de sondagens, conforme apresentado na Figura 34.
- iii) Interpretação do perfil de sondagem GC – SM1 e gráficos resultantes do Ensaio de Dilatômetro de Marchetti, realizado em locais aproximados, a fim de estabelecer uma analogia entre eles.

5.2.1 Análise de perfis de sondagens de épocas diferentes

Serão analisados os perfis de sondagens GA – SP06 realizados em 1984 e LO – SP07 executados em 2013. Serão considerados os 10 primeiros metros de solo abaixo das cinzas, para averiguar as consequências do aterro sobre o solo mole. Ressalta que a aparente proximidade dos pontos de sondagens ocorre devida a escala da imagem, em campo são em torno de 60 metros de distância entre os furos de sondagens, o que pode contribuir para a desuniformidade dos resultados.

A sondagem GA – SP06 e os demais ensaios de 1984 foram executados apenas os 20 primeiros metros sem alcançar o impenetrável, se fossem explorados até a camada rija poderia ter contribuído ainda mais para este estudo. A sondagem LO – SP07 e as demais da empresa Locks Sondagens não apresentam as cotas de execuções.

Ao confrontar os dois perfis, Figura 34, vê-se que a resistência do GA – SP06 não ultrapassa 1 golpe por metro e o solo é classificado em argila de consistência muito mole e areia fofa, os tipos de solos com mais baixa resistência. A sondagem LO – SP07 tem uma resistência um pouco maior, atingindo N_{SPT} igual a 6, dando a argila a consistência de mole, classificado de acordo com a NBR 6484/2001.

Este acréscimo de resistência dá indícios à teoria de Terzaghi, a aplicação de uma carga ao solo, com o decorrer dos anos, levará a aumento gradual da capacidade do solo, devido à expulsão da água e em seguida do ar, entre as partículas do solo, conseqüentemente, ocorre à diminuição dos índices de vazios, que é um dos principais motivos para melhoria do comportamento geomecânico do solo.

5.2.2 Perfis Estratigráficos

A partir dos perfis do subsolo apresentados pelas empresas geotécnicas, com a descrição do tipo do solo, as cotas correspondentes de cada camada, a posição do nível d'água e os valores a resistência da penetração foi possível traçar seções do solo.

As sondagens realizadas em certa proximidade permitiram a execução do traçado de seções do subsolo, ligaram-se as cotas de materiais semelhantes, partindo da hipótese que as camadas sejam contínuas. Foram elaboradas 3 seções que estão localizadas conforme apresentadas da Figura 35:

- i) Seção 01 – sondagens de 1984, Figura 36;
- ii) Seção 02 – sondagens de 2014, Figura 37;
- iii) Seção 03 – sondagens de 2014, Figura 38;

A seção 01 reproduz as sondagens realizadas em 1984, somente estas detalham as cotas dos furos, portanto o solo se apresenta referenciado pelo nível do mar. Observa-se que há a predominância para o terreno natural, ou seja, sem aterro, somente a sondagem GA – SP 02 havia sobrecarga, por isso, as camadas colapsíveis registram certo ganho da resistência.

As seções 02 e 03 foram traçadas a partir das sondagens realizadas pela mesma empresa que não estabeleceu topograficamente as cotas dos furos, portanto o terreno foi considerado plano. Por serem mais recentes apresentam camadas de aterro de cinzas pesadas, nota-se que a camada de cinza não tem espessura uniforme, variando entre 3 a 7 m, confirmando os estudos de caracterização ambiental realizados por Tominatti *et al* (2009) e Rufino *et al* (2013), relatados no Capítulo 3. Outra irregularidade está na profundidade para alcance da camada impenetrável variando entre 18 m a 42 m.

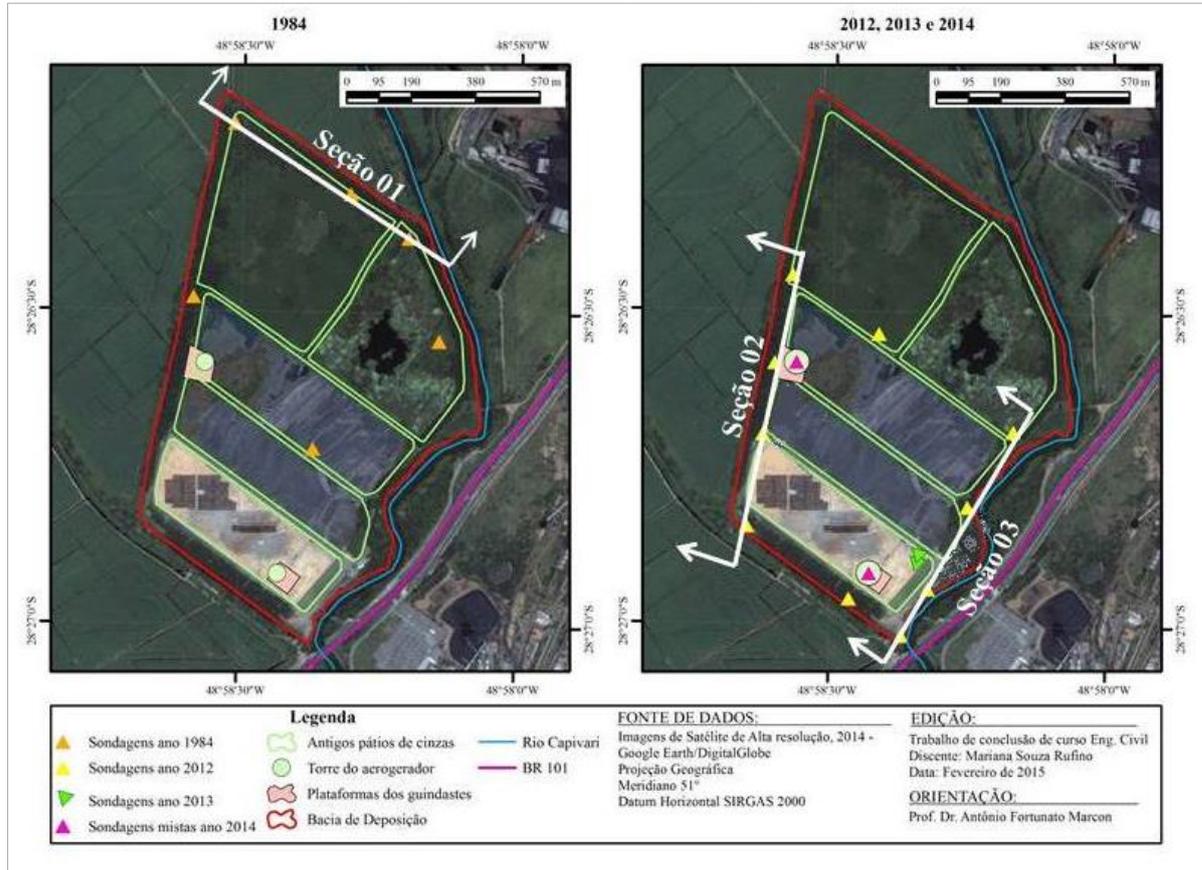
Outro aspecto notado na sondagem LO – SP 08, a presença de areia compactada, dá indício que a área já foi aterrada com equipamento e posteriormente aterrada com cinza, conforme Figura 37.

Analisando as seções percebe-se que a característica marcante de solos moles é a heterogeneidade vertical, seja por suas camadas que se intercalam entre argila e areia, pela presença ou não de matéria orgânica e/ou de sedimentos marinhos, sem que seja possível estabelecer uma uniformidade. Todos os aspectos apresentados confirmam o processo de formação do solo inconsolidado, conhecido pela ocorrência dos avanços e recuos da linha da costa a milhares de anos. Também, pela

proximidade ao rio Capivari que influenciou profundamente para sua formação, dando-lhe uma heterogeneidade horizontal e vertical.

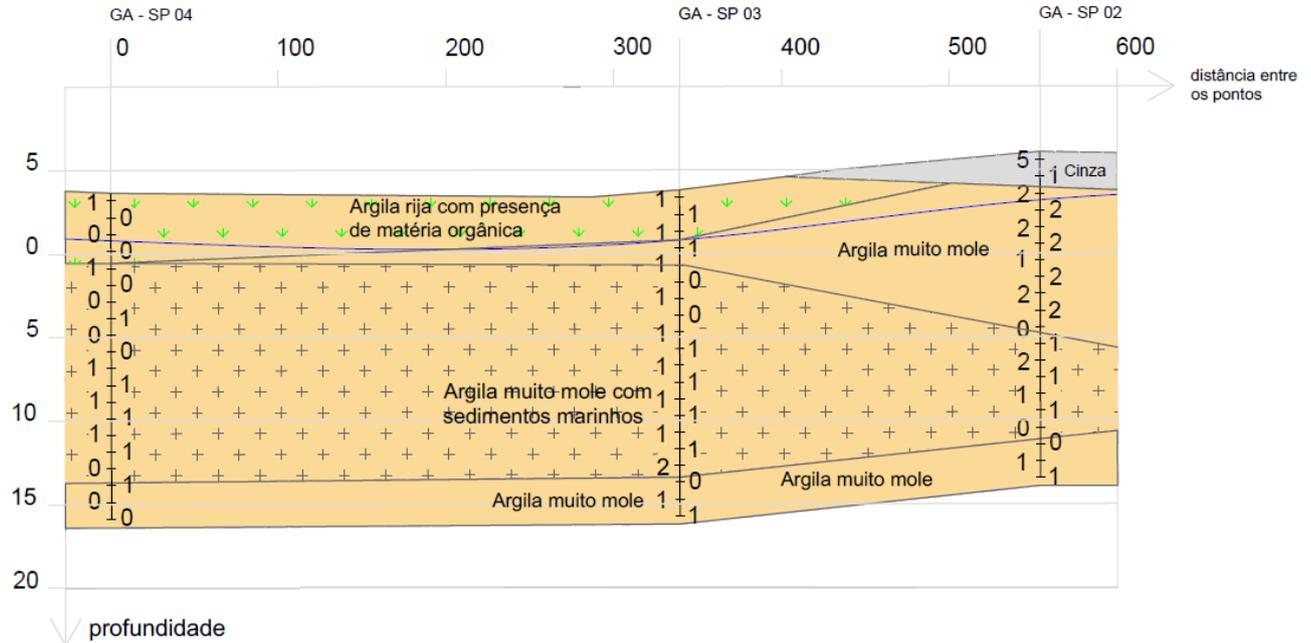
Assim, a execução de um aterro neste solo deve ter cuidados no intuito de garantir estabilidade e reprimir ou controlar os recalques causados devido à baixa capacidade de suporte.

Figura 35 – Seções dos perfis estratigráficos



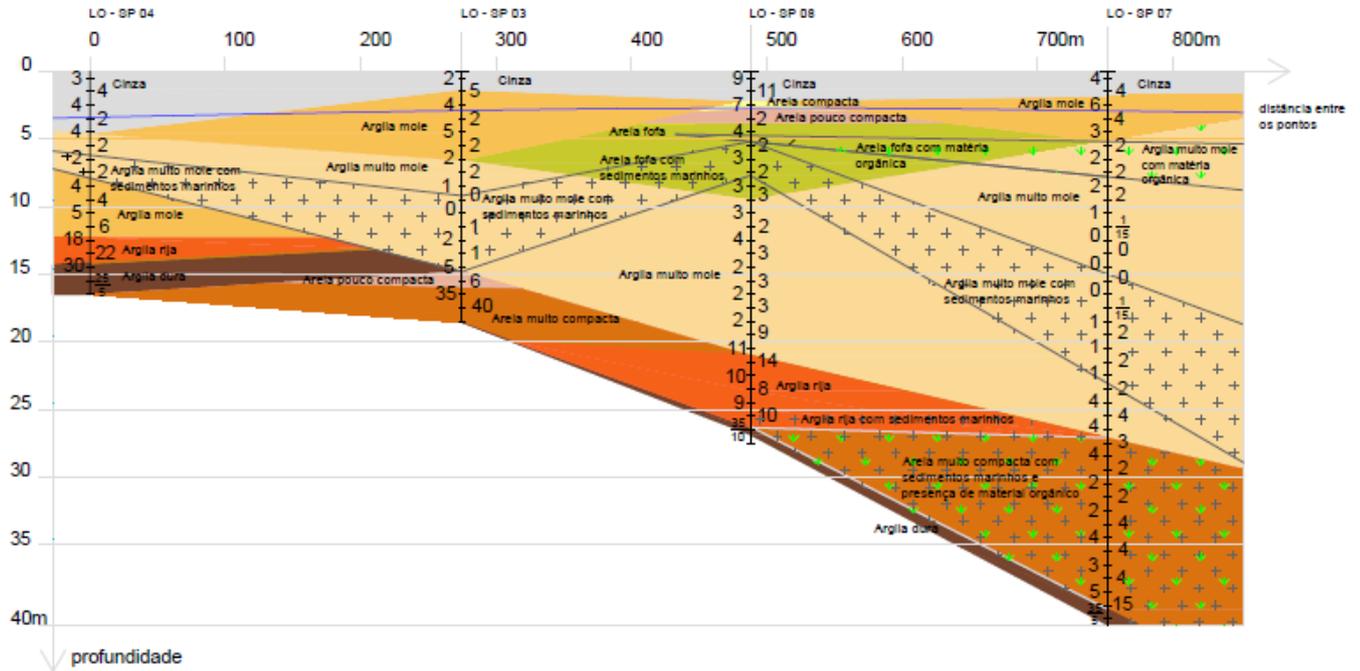
Fonte: Autor.

Figura 36 – Seção 01 dos perfis estratigráficos



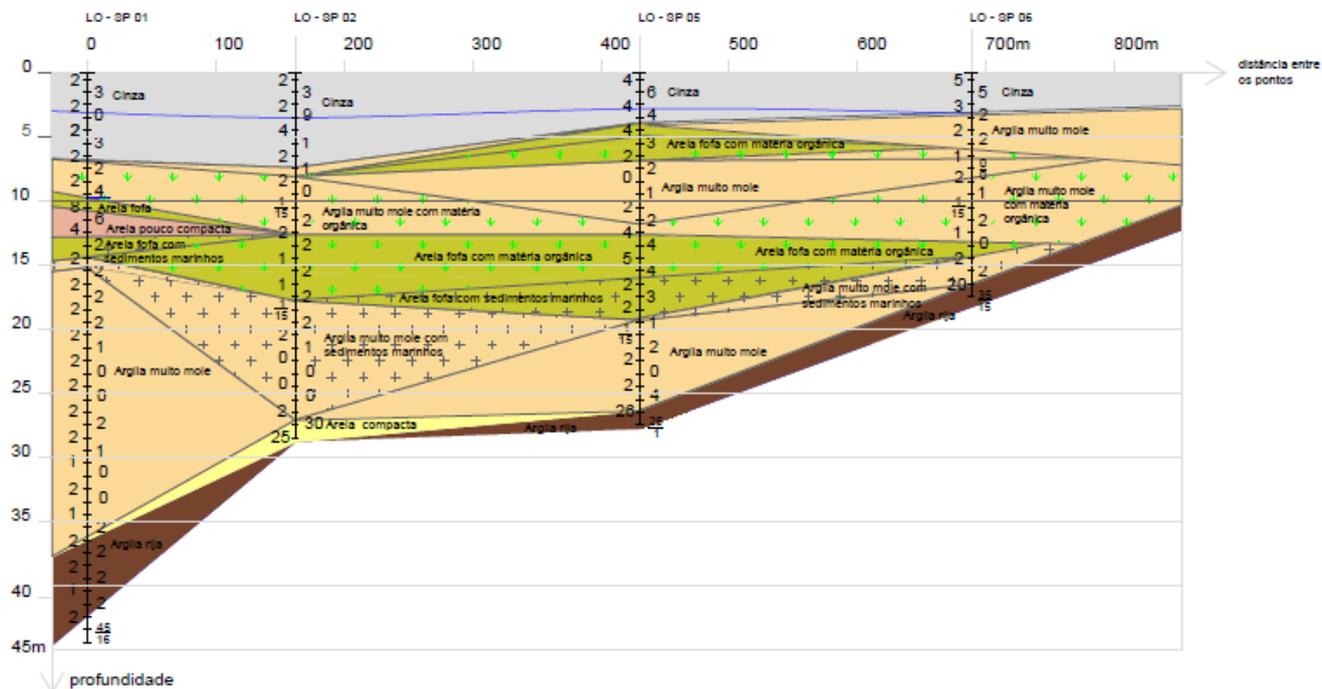
Fonte: Adaptado de Geotécnica (1984)

Figura 37 – Seção 02 dos perfis estratigráficos



Fonte: Adaptado de Locks Sondagens (2012)

Figura 38 – Seção 03 dos perfis estratigráficos



Fonte: Adaptado de Locks Sondagens (2012)

5.2.3 Perfil de sondagem e gráficos resultantes do Ensaio de Dilatômetro

A realização da investigação geotécnica em verticais próximas permite a visão e a análise conjunta dos resultados dos ensaios. Esse procedimento possibilita a interpretação dos ensaios, visando um melhor entendimento do comportamento geomecânico das camadas de depósitos de solo mole ensaiadas e, também, avaliar a coerência nos resultados de diferentes ensaios. Serão confrontados dois ensaios geotécnicos.

O primeiro é o ensaio de SPT, reconhecido mundialmente para classificação das camadas do subsolo, seu método de execução foi detalhado no Capítulo 2, conforme a NBR 6484 (ABNT, 2001).

O segundo é o Ensaio de Dilatômetro de Marchetti foi desenvolvido na Itália pelo pesquisador homônimo ao ensaio, na década de 70. Seu modo de execução e interpretação dos resultados estão descritos no Capítulo 2. Há poucos estudos brasileiros da aplicação deste ensaio e não há normalização específica no Brasil.

As execuções dos ensaios estão registradas na Figura 39.

Figura 39 - Execução dos ensaios



(a) SPT, junho de 2014



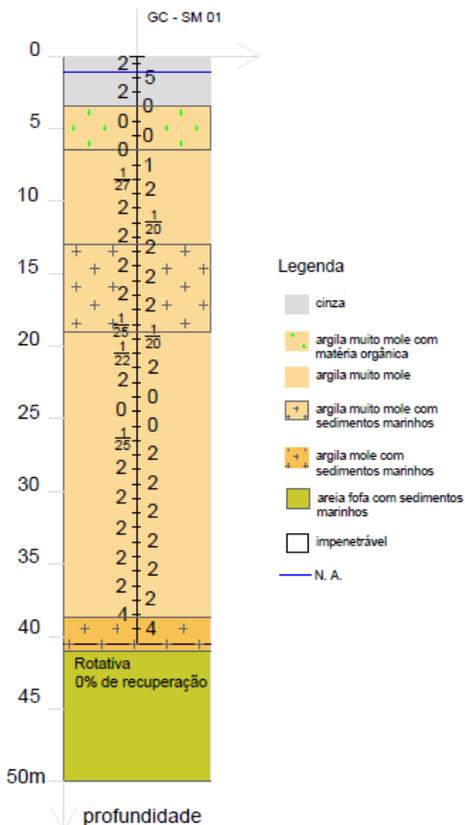
(b) Ensaio de dilatômetro, julho de 2014

Fonte: Acervo pessoal do autor (2014)

O perfil de sondagem utilizado foi executado exatamente, no local onde está o centro do aerogerador 2.1 (localização dos aerogeradores na Figura 31). Na Figura 33 aparece sua localização, o triângulo de baixo, na cor magenta.

A Figura 40 apresenta a interpretação dos dados do relatório de sondagem do perfil GC – SM01. O relatório completo está disponível no Anexo A.

Figura 40 - Perfil de sondagem GC - SM 01



Fonte: Adaptado de Geotec (2014)

Os resultados do Ensaio do dilatômetro estão apresentados no Quadro 5, o relatório completo está disponível no Anexo B. O relatório do ensaio de dilatômetro não informa as coordenadas do ensaio, porém o acompanhamento da realização dos mesmos, é possível afirmar a proximidade de locação entre 10m.

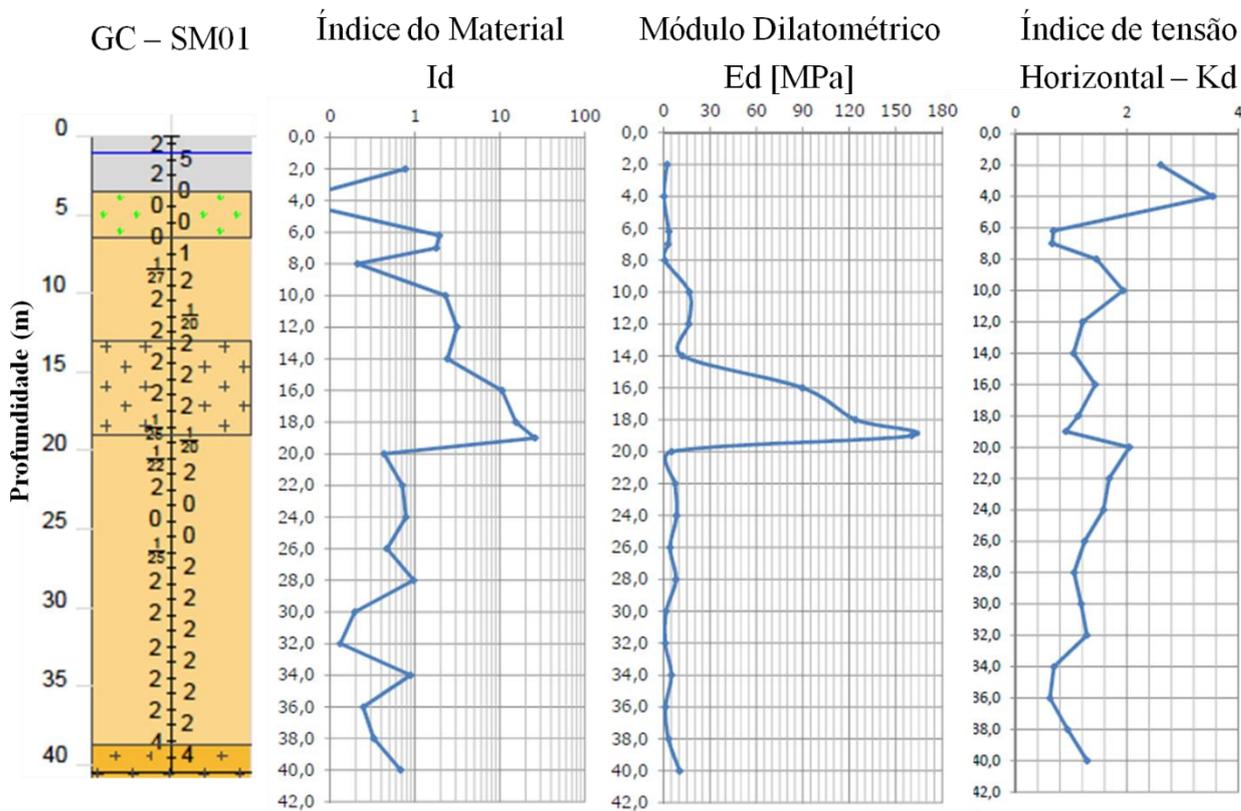
A Figura 41 condensa os resultados dos dois ensaios, os gráficos dos índices dilatométricos foram recolhidos do relatório da Fugro (2014), empresa executora.

Quadro 5 - Resultado do Ensaio de Dilatômetro de Marchetti

Dados Gerais											
Cód. Obra: WEG-01				ΔA (bar): 0,2							
Data de ensaio: 07/07/2014				ΔB (bar): 0,45							
Ident.: DMT-01				N.A. (m): 3,00							
Profundidade (m)	Pressões medidas (bar)			Pressões Corrigidas (kPa)			Pressão hidrostática u_0 (kPa)	Peso esp. kN/m^3	Índices Dilatométricos		
	A	B	C	P_0	P_1	P_2			E_D (MPa)	I_D	K_D
2,0	0,7	1,9	0,5	82	145	70	0	15,70	2,2	0,77	2,6
4,0	1,5	2,2	0,1	170	175	25	10	13,73	0,2	0,03	3,5
6,2	0,7	2,2	0,2	81	175	35	31	16,68	3,3	1,92	0,7
7,0	0,7	2,2	0,2	86	170	43	39	15,70	2,9	1,80	0,7
8,0	1,3	2,2	0,3	149	170	50	49	14,72	0,7	0,21	1,5
10,0	2,8	8,0	0,6	277	755	75	69	17,66	16,6	2,29	1,9
12,0	2,4	7,5	0,7	238	705	90	88	17,66	16,2	3,13	1,2
14,0	2,5	6,5	0,8	253	605	95	108	17,66	12,2	2,42	1,0
16,0	4,8	30,0	2,2	372	2955	240	128	18,64	89,6	10,57	1,4
18,0	5,3	40,0	1,7	380	3955	190	147	19,62	124,1	15,37	1,1
19,0	5,4	50,0	1,7	335	4955	190	157	18,64	160,3	25,95	0,9
20,0	5,0	7,0	3,9	508	655	410	167	16,68	5,1	0,43	2,0
22,0	4,8	7,5	2,9	490	705	305	186	16,68	7,5	0,71	1,7
24,0	5,1	8,0	3,1	514	755	330	206	16,68	8,4	0,79	1,6
26,0	4,7	6,5	3,3	484	605	350	226	16,68	4,2	0,47	1,2
28,0	4,7	7,5	3,0	479	705	320	245	16,68	7,8	0,96	1,1
30,0	4,9	6,0	4,0	508	555	420	265	15,70	1,6	0,19	1,2
32,0	5,1	6,0	4,0	524	555	420	284	14,72	1,1	0,13	1,3
34,0	4,5	6,5	4,8	463	605	500	304	15,70	4,9	0,89	0,7
36,0	4,6	5,6	4,0	473	510	415	324	15,70	1,3	0,25	0,8
38,0	6,0	7,5	6,0	616	705	620	343	16,68	3,1	0,33	0,9
40,0	8,0	11,5	5,2	806	1105	540	363	17,66	10,4	0,68	1,3

Fonte: Fugro (2014)

Figura 41 - Perfil de sondagem (GC SM01) e Resultados do Ensaio de Dilatômetro



Fonte: Adaptado de Geotec (2014) e Fugro (2014).

No intuito de garantir uma análise interpretando a realidade em campo, as cotas de execução foram observadas para equiparar os ensaios. O SPT foi executado na cota: -2,54 m, provavelmente, referenciaram a cota da rua de acesso a usina como zero, pois para fazer o aterro foi construída uma enorme vala para acomodar o bloco de fundação do aerogerador, mais detalhes serão descritos no item 5.4. O ensaio de dilatômetro executado um mês depois, não foi registrado a cota.

Embora o nível d'água registrado seja diferente entre os ensaios (1,08 m para o SPT e 3 m, ensaio de dilatômetro), foi considerado que tenham sido executados na mesma cota. Pois, em meados de junho de 2014 foi implantada a drenagem profunda no local, a qual deve ter contribuído para o rebaixamento do lençol freático, mais detalhes da execução da torre do aerogerador no item 5.4.

O perfil do SPT tem as mesmas características que os demais perfis realizados nos últimos anos, já apresentados neste estudo, aterro de cinza pesada com espessura de 3,5 m, as camadas de argilas de consistência mole a muito mole, com presença de material orgânico e sedimentos marinhos, camada impenetrável próximo a 40 metros de profundidade.

A interpretação do ensaio de dilatômetro será realizada através dos índices dilatométricos:

i) Índice do material - I_d

Este define o comportamento granulométrico, ou seja, tem a capacidade de classificar o solo em argila, silte e areias. A interpretação desse índice é direta, sem compreender os demais índices. Na primeira camada que estende da superfície até 13 m, sendo que aos 10 m começa uma camada de transição, o solo pode ser classificado como silte ($0,6 < I_d < 1,8$). Na faixa dos 13 a 19 m da superfície apresentou os maiores valores, indicativo de uma camada arenosa, pois I_d de valores maiores que 1,8 são considerados areias. Na última camada que, teoricamente, sofreu menos influência do aterro, classifica como argila, pois o I_d varia entre 0,1 e 0,6.

ii) Módulo Dilatométrico

Está relacionado à compressibilidade do solo por proporcionalidade inversa, ou seja, quanto maior seu valor, menos compressível será o solo. A faixa de 14 a 19 m de profundidade apresenta os maiores

valores, portanto a menos compressível. A camada mais próxima a superfície (até 13m), tem um pouco menos de compressibilidade, comparada a camada de argila após a faixa arenosa.

Do Quadro 5 - Resultado do Ensaio de Dilatômetro de Marchetti, após analisar os dados de I_d e E_d definiu-se 3 camadas distintas a primeira da superfície até 13 m de profundidade, a segunda de 14 m a 19m e a última dos 20 m ou mais de profundidade. Então foram selecionados pontos intermediários de cada camada e foram interceptados os dados no gráfico da Figura 8 - Classificação dos solos, segundo Marchetti e Crapps (1981). A conclusão dos dados é mostrada no Quadro 6.

Quadro 6 - Classificação do solo, utilizando I_d e E_d

Profundidade (m)	I_d	E_d	Tipo de solo
6,2	1,92	3,3	Argila muito mole e/ou turfa
16	10,57	89,6	Areia fofa
18	0,96	7,8	Argila muito mole

iii) Índice de tensão horizontal - K_d

O índice relaciona a tensão efetiva horizontal *in situ* com a tensão vertical efetiva, esta relação é a própria definição do empuxo em repouso, porém não deve ser considerada a medida direta deste parâmetro, pois devido à cravação da palheta há um distúrbio do solo, influenciando nos resultados.

O índice também está relacionado à história de tensões, quando um solo é Normalmente Adensado o K_d varia entre 1,8 e 2,3. Valores maiores que 2,3, os solos são considerados sobreadensados.

Os 4 primeiros metros podem ser classificados como sobreadensados, reforçando o indício de as primeiras camadas tiveram maior influência do aterro, as demais camadas são caracterizadas como normalmente adensadas, pois não possui nenhum valor superior a 2,3.

Confrontando os dois ensaios, o SPT não chega apresentar uma camada denominada como areia, conforme sugere os índices do ensaio de dilatômetro na camada de 14 a 19 m. A sondagem apresenta uma camada denominada argila arenosa pouco plástica dos 6,5 a 13 m e logo abaixo uma argila com presença de calcário, 13 a 19 m, os sedimentos marinhos podem ter contribuído para a caracterização do solo como areia no ensaio de dilatômetro.

Nas demais camadas predominam a argila plástica de consistência mole a muito mole, confirmando os valores encontrados no ensaio de

dilatômetro. Portanto, no que diz respeito à definição de estratigrafia os ensaios apresentados se completam, contribuindo ainda mais para a pesquisa.

5.3 ENSAIOS GEOTÉCNICOS

A elaboração de uma obra sobre solos moles requer um programa de investigação geotécnica, esta é a primeira fase do projeto, assim para a concepção da Usina Eólica foram executados diversos ensaios.

Os ensaios laboratoriais realizados foram realizados no solo e na cinza: Análise Granulométrica, o Ensaio de Limites Atterberg, Ensaio de Compactação e Índice de Suporte Califórnia, estão no Anexo D. Não foram registrados os locais exatos de recolhimento das amostras.

O Ensaio de placa realizado em campo, para comprovação da resistência alcançada do aterro, está disponível no Anexo E.

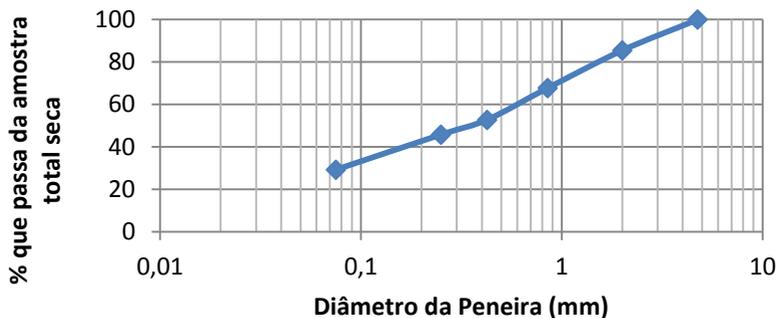
5.3.1 Análise Granulométrica

A análise granulométrica é a determinação dos diâmetros das partículas presentes em um solo, expressa como uma percentagem do peso seco total. Utilizou-se somente o ensaio de peneiramento para definir a curva granulométrica, portanto a não realização do ensaio de sedimentação descaracteriza bastante o solo cujo teor da presença de finos é alto.

A curva granulométrica da argila pode ser caracterizada como contínua e bem graduada, como presença de material fino, representando 30% do peso total da amostra, conforme Figura 42.

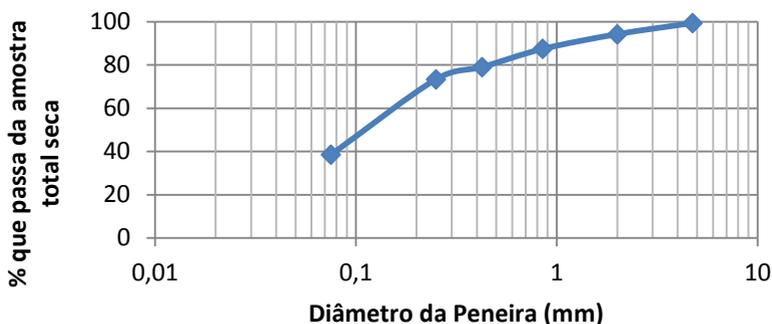
A curva da granulométrica de cinza apresentada na Figura 43, tem algumas características similares na curva encontrada por Margon (2002), apresentada na Figura 1. A cinza reproduz uma curva que pode ser caracterizada como contínua, bem-graduada e com presença de material fino representando 40% da amostra.

Figura 42 - Análise Granulométrica da argila



Fonte: Adaptado de Geotec (2013)

Figura 43 - Análise Granulométrica da cinza



Fonte: Adapto de Geotec (2013)

5.3.2 Limites de Atterberg

Os limites encontrados para amostra de argila recolhida na área de estudos são exibidos na Figura 44. O gráfico encontrado da interpretação do resultado deste ensaio está apresentado na Figura 45.

O ensaio para determinação do LL, segundo a NBR 6459 (ABNT,1984), as amostras aptas a determinar o limite dever conceber

um intervalo de golpes entre 15 a 35 golpes, no caso usou-se uma amostra que estava fora deste intervalo. LL encontrado de 32,97, ressalta-se o número insuficiente de amostras. Foram apresentados 3 resultados de ensaio, quando o número recomendado é de 5.

Salienta-se o número insuficiente de amostras coletadas para determinação do LP, de acordo com a NBR 7180 (ABNT, 1984), são necessários o mínimo de 3 teores de umidade e deste retirar a média, tal que nenhum teor não deva deferir da respectiva média mais que 5%. Está média será o LP, neste ensaio foram usadas apenas 2 amostras, resultado em LP = 23,95.

O Índice de Plasticidade (IP) encontrado foi de 9,02. Segundo a Tabela 2 - Classificação do IP (p.36), a argila em questão é caracterizado como de baixa plasticidade, onde o IP varia entre 5 e 10. Possivelmente, a amostra retirada foi da camada superficial, na qual vista em sondagens tem um caráter mais granular do que plástico.

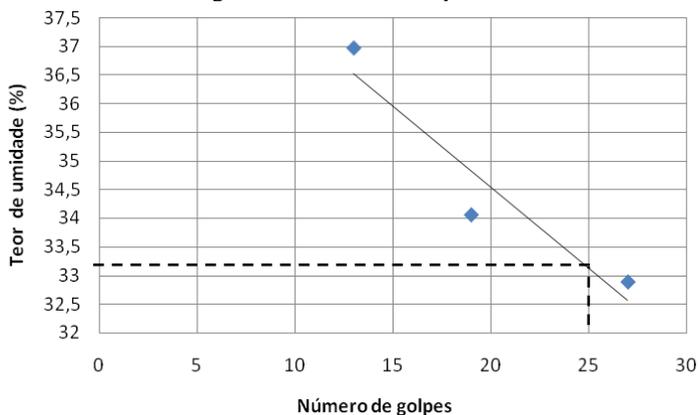
A cinza não possui plasticidade, portanto não foi realizado o ensaio neste material.

Figura 44 – Resultados do ensaio de Limites de Atterberg

	LIMITE DE LIQUIDEZ			LIMITE DE PLASTICIDADE	
	12	25	37		
Cápsula n°				48	212
Cápsula + Solo Umido(g)	22,01	20,85	23,92	9,61	10,60
Cápsula + Solo Seco(g)	18,28	17,11	19,21	8,99	9,69
Peso da Cápsula(g)	6,94	6,13	6,47	6,40	5,89
Peso da Água(g)	3,73	3,74	4,71	0,62	0,91
Peso do Solo Seco(g)	11,34	10,98	12,74	2,59	3,80
Teor de Umidade(%)	32,89	34,06	36,97	23,94	23,95
Número de Golpes	27	19	13		

Fonte: Geotec (2013)

Figura 45 - Limite de Liquidez



Fonte: Adaptado de Geotec (2013)

5.3.2 Ensaio de compactação

O ensaio de compactação é normatizado pela NBR 7182 (ABNT, 1986) e tem por objetivo determinar o teor de umidade ótimo que será empregado em campo. A amostra apresentada na Figura 46 é de um solo argiloso e a amostra 2, Figura 47, é de cinza pesada. O relatório de ensaio não apresentou os locais de coletas das amostras, disponível no anexo D.

Os resultados do ensaio apresentam a tabela e a curva encontrada. A Figura 3 - Curva de compactação característica para quatro tipos de solos auxiliará na classificação do solo conforme a curva resultante deste experimento.

A curva da amostra de solo argiloso, apresentado na Figura 46, pode ser comparada a curva de argila siltosa da Figura 3, com o formato que se assemelha a um sino. E com valores de índices aproximados, peso específico e teor de umidade ótimo, respectivamente, 18 kN/m³ e 14%.

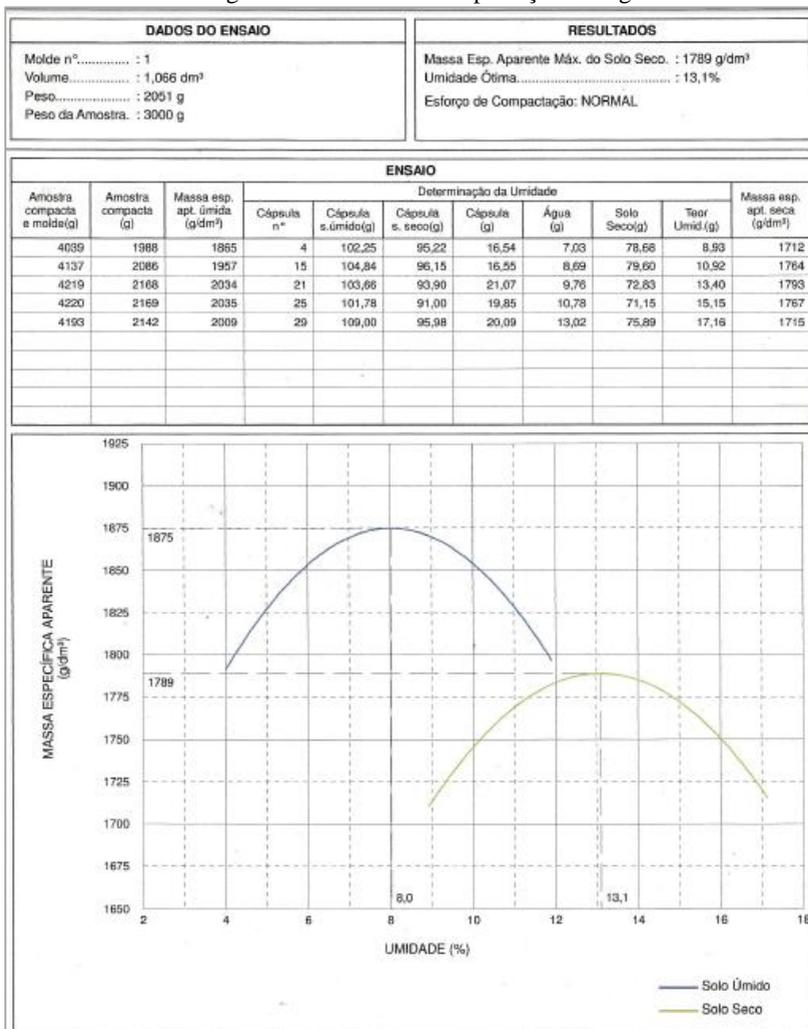
A amostra de cinza, Figura 47, mesmo sendo um material artificial, remete a um silte arenoso, também, apresentado na Figura 3. E com valores de índices encontrados, como era de se esperar, diferentes a de um silte arenoso, afinal é resultado da queima de um mineral. Peso específico e teor de umidade ótimo, respectivamente, 11 kN/m³ e 29%.

Em relação a “curva de solo úmido” visto na Figura 46 e Figura 47 por não conter na tabela, dados para definir seu traçado, sua análise foi desconsiderada neste estudo.

Observa-se a o traçado da curva simétrico, algo dificilmente encontrado em laboratório, isto ocorre, pois são utilizados os dados calculados e não determinados experimentalmente.

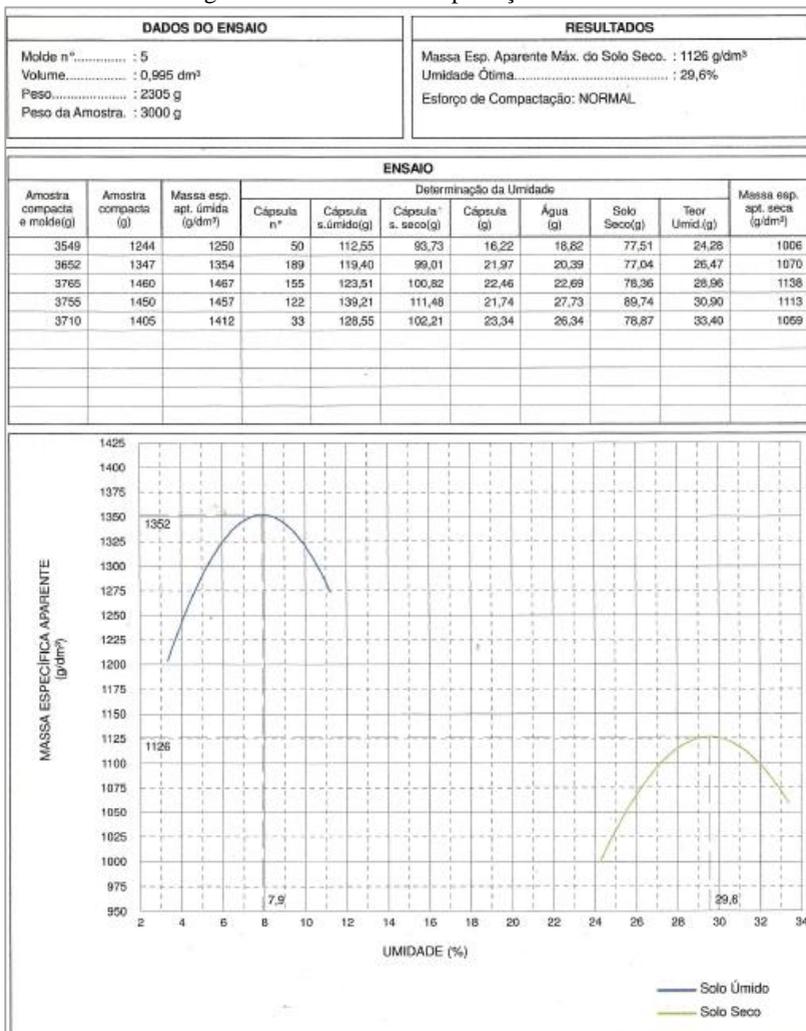
Não foi possível determinar se foi utilizado amostras com reuso.

Figura 46 - Ensaio de compactação da argila



Fonte: Geotec (2013)

Figura 47 - Ensaio de compactação da cinza



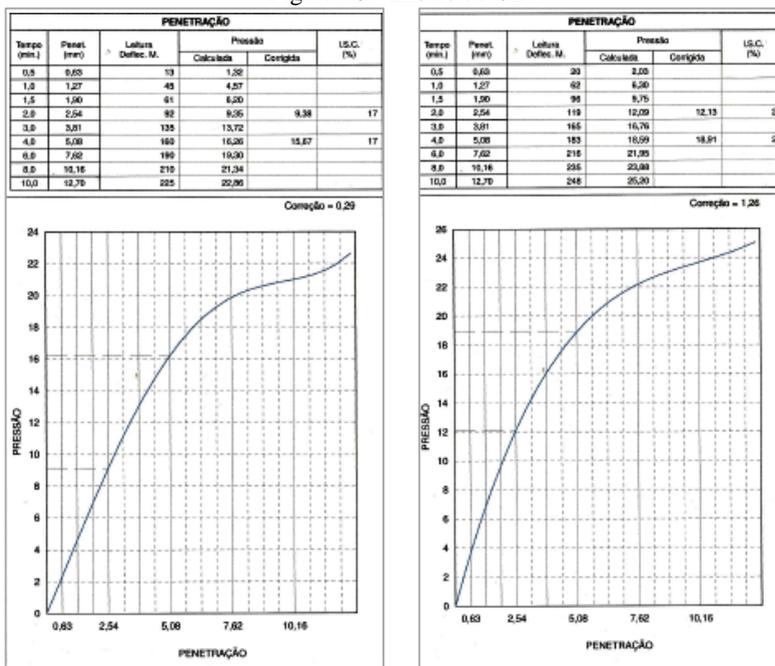
Fonte: Geotec (2013)

5.3.2 CBR

O ensaio do CBR tem por objetivo determinar a relação da penetração de um pistão em uma amostra-padrão e amostra do solo. Está regulamentado pela NBR 9895 (ABNT, 1987).

Analisando o gráfico resultante do experimento constatou-se que foi realizada a correção da curva, conforme é solicitado em norma. E que com um CBR = 23%, a cinza tem maior resistência que o solo argiloso (17%). Os dois materiais tem expansão próximas de 0 (zero), conforme anexo D.

Figura 48 - Ensaio de CBR



(a) Saibro

(b) cinza

Fonte: Geotec (2013)

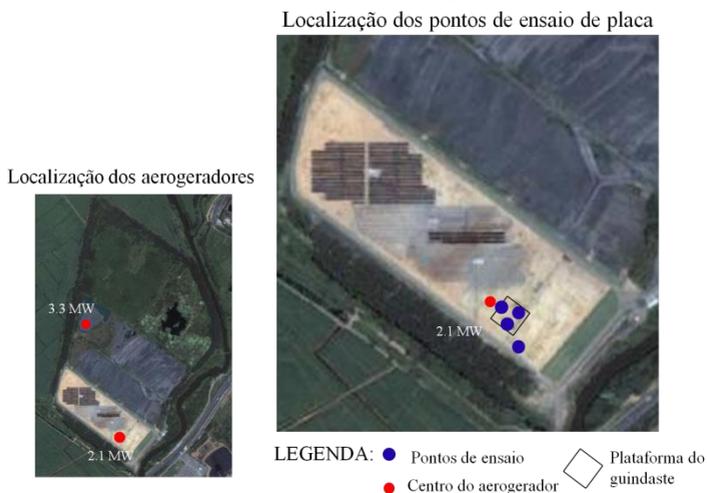
5.3.3 Ensaio de placa

Este experimento tem por objetivo assegurar que o aterro executado possui as resistências estabelecidas em projeto. Foi realizado na plataforma do guindaste que participava na montagem da torre eólica. A Figura 49 apresenta a locação.

O relatório de ensaio de ensaio está disposto do anexo E, de onde foram retirados os gráficos resultantes do ensaio, apresentados na Figura 50. Era exigida para a plataforma do guindaste uma tensão de 4kgf/cm^2 . O guindaste utilizado, tipo CC 2800, tem capacidade nominal de 600 t e necessita de contrapeso de 290 t. Possui lança treliçada de alta precisão, podendo executar movimentos suaves e está apoiado sobre um caminhão que desempenha a função de transportá-lo. Possui braço estabilizador que garante maior estabilidade, tal que, as tensões aplicadas no terreno são mais bem distribuídas. A capacidade de içamento é uma das maiores existentes e possui poucos modelos deste porte no país.

Segundo a NBR 6489 (ABNT, 1984), o experimento é dado como encerrado quando há um deslocamento vertical de 25 mm ou alcançado o dobro da tensão admissível provável do solo, neste caso todos os pontos ultrapassaram o triplo da tensão admissível, assegurando que a resistência do solo é adequada às exigências de projeto.

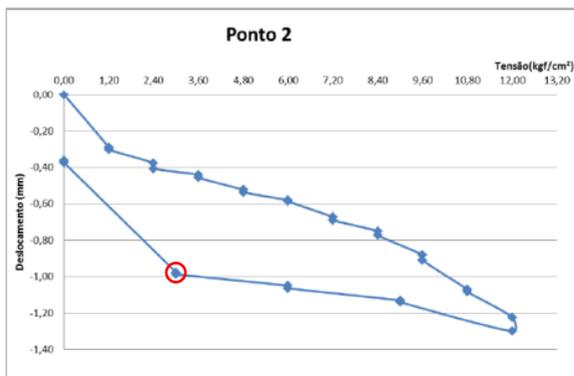
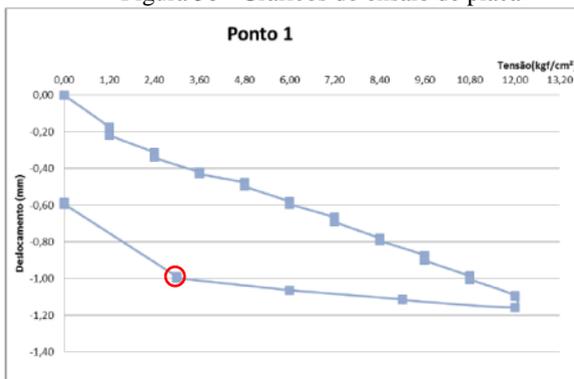
Figura 49 - Ensaio de placa

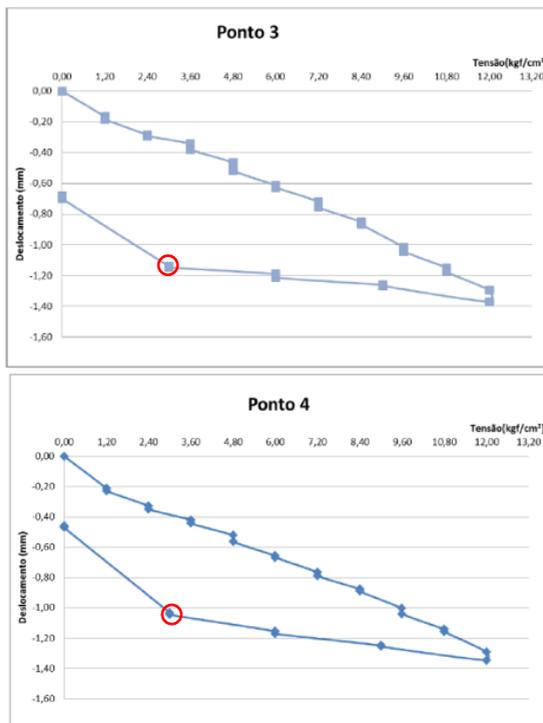


Fonte: Adaptado de Fundare Engenharia (2014)

A Figura 50 apresenta os gráficos “deslocamento *versus* tensão” dos quatro pontos, percebe-se que foram realizados dois pontos no limite da plataforma, pois havia a preocupação se haveria resistência na face de encontro dos dois tipos de aterro, o aterro da plataforma do guindaste e o aterro do bloco de fundação do aerogerador, no item 5.4 serão descritas estas execuções.

Figura 50 - Gráficos do ensaio de placa





Fonte: Adaptado de Fundare Engenharia (2014)

É importante ressaltar que a placa media apenas 0,3 m de diâmetro, portanto há um bulbo de tensão de dimensões insignificantes, incapaz de alcançar a camada de solo colapsível que havia maior interesse para descobrir o ganho de resistência. Também, não há indícios no relatório de cálculos para determinação da correlação entre a base da placa e da fundação, apenas aceitou-se o valor encontrado.

Outro ponto analisado, é que o solo não é um material elástico, portanto sempre haverá um deslocamento e que após o descarregamento jamais retornará ao ponto zero. Sendo assim, deve-se considerar apenas o trecho menos inclinado do descarregamento para determinação do recalque, neste ensaio o círculo em vermelho indica os recalques previstos.

Em função dos argumentos apresentados, conclui-se que o resultado do ensaio é discutível e que seria necessário maior cuidado ao afirmar que a resistência pretendida foi alcançada, em virtude como foi determinado sem as correlações necessárias.

5.4 EXECUÇÕES DO REATERRO

No ano de 2010, com a desativação da bacia, foram levantadas hipóteses para a ocupação da área, surgiu a ideia de transformar o espaço numa incubadora para pesquisa e aperfeiçoamento de tecnologias em geração de energia limpa.

A área do empreendimento está situada na zona urbana de Tubarão que, de acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Físico Territorial Urbano do município, está classificada como sendo uma Zona Comercial 3 (ZC-3) que busca estimular a concentração de atividades comerciais e serviços que já se desenvolvem na área e permitir a instalação de indústrias. A Zona Comercial 3 é equivalente à área industrial que não ficou definida pelo Plano Diretor vigente, logo, entende-se que o empreendimento está enquadrado nas atividades toleradas de acordo com o zoneamento estabelecido.

5.4.1 Usina Solar Cidade Azul

No início de 2014 começou a execução da Usina Solar Cidade Azul, na Figura 49, aparece a sua localização na área de estudo.

A Tractebel Energia com o apoio da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desenvolveu o projeto de P&D ANEEL intitulado "Implantação de Usina Solar Fotovoltaica de 3,0 MW e Avaliação do Desempenho Técnico e Econômico da Geração Fotovoltaica em Diferentes Condições Climáticas na Matriz Elétrica Brasileira".

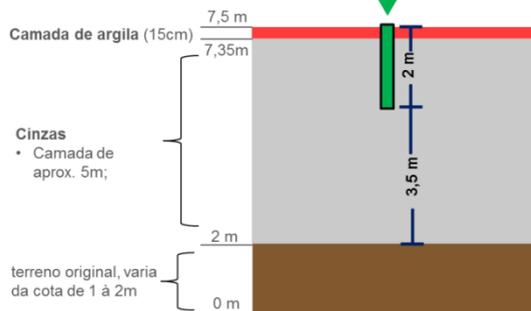
A usina solar fotovoltaica tem capacidade de gerar 3,0 MW e tem implantado 3 módulos de diferentes placas de captação solar, no intuito de investigar o potencial de geração solar no Brasil.

A montagem dos painéis fotovoltaicos foi executada sobre estruturas metálicas de sustentação. Essas estruturas foram fixadas ao solo, por meio de blocos de fundação de concreto magro, atingindo os 2 metros de profundidade. Eram fundações rasas de uma estrutura leve, portanto não foram necessárias técnicas para ganho de resistência do solo.

No início da obra a Bacia 1, localização na Figura 29, havia uma cota média de 5,5 m, sendo 2m de terreno natural e o restante em depósito de cinzas. O nível da cota foi elevado a 7,5 m, com a utilização de cinzas e uma camada superficial de argila, conforme o plano de contingência de cheias do Complexo que exige cota mínima de 7,5 para as suas edificações.

A área aterrada foi de 10 hectares, estima-se que a movimentação de cinzas tenha sido de 100.000 m³, para atingir a cota de +7,35 m. E a camada superficial de argila com espessura de 15 centímetros, resultou na colocação de 18.600 m³ do material (Figura 51).

Figura 51 - Croqui do aterro da Usina Solar Cidade Azul



Fonte: Silva *et al* (2013)

As camadas foram compactadas, conforme a norma, a fim de garantir maior capacidade suporte ao solo. Também, sobre a argila foram plantadas gramíneas para auxiliar na fixação do solo exposto, evitando o carreamento de sedimentos e erosões no terreno para áreas vizinhas do empreendimento. A Figura 52 apresenta a usina solar em operação e a Figura 53, detalhe de painéis fotovoltaicos já instalados.

Figura 52 - Usina Fotovoltaica Cidade Azul, em segundo plano o CTJL



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2014)

Figura 53 - Painéis fotovoltaicos



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2014)

5.4.1 Usina Eólica

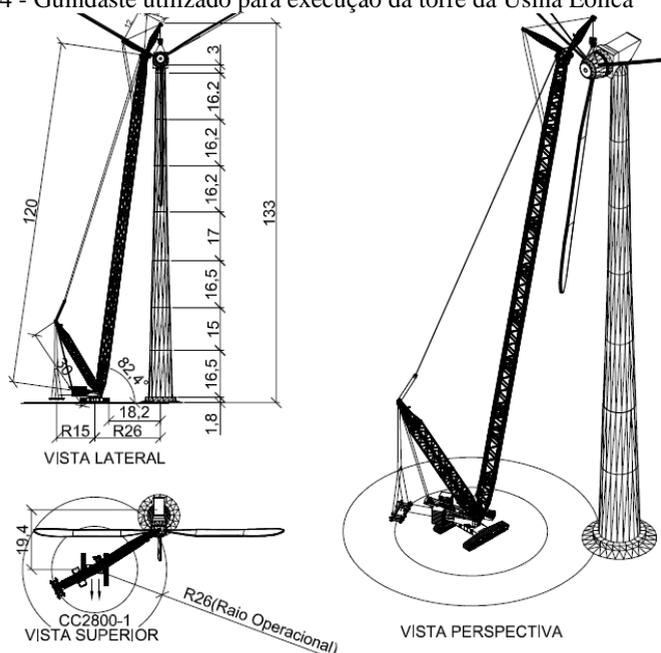
A Usina Eólica também faz parte do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel (P&D) realizado pela Tractebel Energia, em parceria com outras empresas e Universidade Federal de Santa Catarina. O projeto representa um marco para o setor elétrico, com a criação e produção de aerogeradores de tecnologia genuinamente brasileira, reduzindo os custos de implantação. Ainda, conta com consultorias de universidades brasileiras e estrangeiras, para construção, num primeiro momento, de um aerogerador de 2,1 MW (protótipo) e, depois, o aerogerador de 3,3 MW, o maior do País.

Realizou-se dois tipos de execução de aterro, uma para área de circulação do guindaste pelo método de substituição do solo colapsável para um como maior resistência. E um segundo aterro, na área onde está posicionado o aerogerador 2.1, a técnica utilizada foi a substituição do solo e aterro sobre elementos de estacas com bloco de fundação.

5.4.1.1 Plataforma do guindaste

O projeto geotécnico consistiu no aterro para a circulação do guindaste para a execução da torre do aerogerador, base de 40 x 60 m. O guindaste foi utilizado para erguer os tramos, estruturas pré-moldadas em forma de anel que constituem a torre, seu diâmetro na base é de 20 metros. O guindaste utilizado está apresentado na Figura 54.

Figura 54 - Guindaste utilizado para execução da torre da Usina Eólica



Fonte: Transdata (2014)

A operação de um guindaste deste porte é realizada conforme um plano de *rigging*, é um projeto técnico das operações necessárias durante a movimentação de cargas com equipamentos de transporte verticais móveis. O planejamento da operação de içamento aumenta a segurança, leva a redução de imprevistos, diminui riscos ao operador e trabalhadores da obra, além de otimizar o tempo. A Figura 55 apresenta parte das especificações do plano de *rigging* para o içamento da última peça da torre: a nacelle e as pás do aerogerador.

Figura 55 - Especificações do plano *rigging* do guindaste

DADOS DA PEÇA A SER IÇADA		PESO	56,70 t
ROTOR + BLADES		COMPRIMENTO	— m
		LARGURA	— m
		ALTURA	— m
		DIÂMETRO	— m
GUINDASTE PRINCIPAL / MODELO / CONFIGURAÇÃO			
CC 2800-1			
SSL/LSL+LF2+SGL_S7			
CAPACIDADE NOMINAL	600 ton		
CONTRA PESO TOTAL	290 ton		
FATOR DE SEGURANÇA NOMINAL	75%		
CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO EQUIPAMENTO			
RAIO OPERACIONAL	26,00	METROS	
COMPRIMENTO DA LANÇA	120,00	METROS	
COMPRIMENTO DO JIB	12,00	METROS	
ÂNGULO DO JIB	20°	GRAUS	
ALTURA DA PONTA DA LANÇA	133,10	METROS	
PESO DA PEÇA IÇADA	56,70	TONELADAS	
INTERNOS	—	TONELADAS	
PESO DO MOITÃO + ACESSÓRIOS	6,00	TONELADAS	
CARGA TOTAL A SER IÇADA	62,70	TONELADAS	
CAPACIDADE OPERACIONAL DO GUINDASTE PELA TABELA DE CARGA	79,50	TONELADAS	
CONTRA PESO UTILIZADO	180+60+50	TONELADAS	
PORCENTAGEM DE UTILIZAÇÃO REAL	83,64	%	
<u>PRESSÃO MÁXIMA NO SOLO</u>	<u>38,90</u>	<u>t/m²</u>	
VELOCIDADE DE VENTO ADMISSÍVEL	10,00	m/s	

Fonte: Transdata (2014)

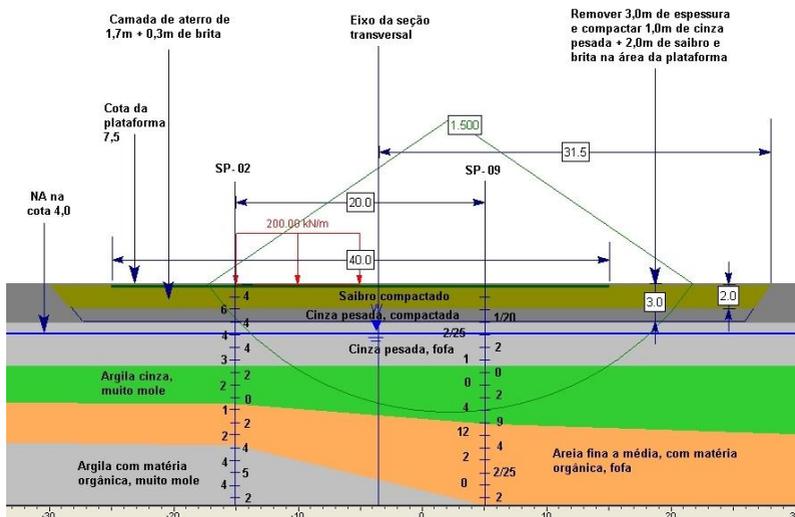
Deste plano *rigging* o que merece a atenção, é a pressão exercida no solo durante a operação do guindaste, portanto foi necessária a execução de uma plataforma para que não houvesse a ruptura no solo, devido a fundação em solos moles.

A empresa executora do guindaste requisitou que a plataforma conseguisse suportar uma tensão de 4kgf/cm². A primeira fase de projeto foi a investigação geotécnica do local que constatou subsolo estava estratificado por uma camada de cinza pesada, uma camada de argila

com matéria orgânica muito mole, uma camada de areia fina a média, fofa com matéria orgânica, e abaixo dessa ocorre uma camada de argila cinza muito mole, perfil com características similares apresentados nos itens anteriores. Observou-se, portanto, ser uma estratigrafia pouco favorável do ponto de vista de resistência.

Tendo em vista esta situação, foi estabelecido o projeto de aterro controlado conforme Maccarini (2014), utilizando como corpo cinza produzida na usina, argila e brita graduada, devidamente compactadas. A Figura 56 mostra como seria a estratigrafia do local após a execução do aterro. O Anexo C, apresenta o projeto completo.

Figura 56 - Seção transversal do solo na Torre 1 após a execução do aterro



Fonte: Maccarini (2014)

O procedimento construtivo estabelecido em projeto para a plataforma da aerogerador 2.1 está descrito a seguir.

- i) A primeira parte foi remover a camada de cinza, 3,0 m de espessura.
- ii) Parte desta cinza, aproximadamente 1,0 m, foi compactada nesta vala, com energia equivalente ao do ensaio do Proctor Normal, em camadas de no máximo 40 cm, no estado fofa.
- iii) Camadas de saibro, com espessura de 30 cm no estado fofa, foram compactadas com energia equivalente ao ensaio de Proctor Normal, até atingir 1,7m de espessura.

iv) Os últimos 0,3 m restantes procederam-se a colocação de brita graduada.

Este deveria ser o projeto executado, porém a equipe técnica de acompanhamento da obra resolveu utilizar apenas 1 m de saibro, e completou com 1 m de brita, ao invés de 0,3 m. O motivo desta mudança foi devido ao clima durante a compactação da argila. Foi um período chuvoso, que estendia o prazo de execução da obra. Esta mudança visou também dar maior estabilidade ao aterro.

Na Figura 57, observa em primeiro plano o fundo da cava com cinza, área onde será executada a fundação do aerogerador, no segundo plano a camada de saibro sendo compactada para plataforma do guindaste e ao fundo a Usina Termelétrica Jorge Lacerda.

Figura 57 - Execução da camada de saibro da plataforma do guindaste



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2014)

A Figura 58 apresenta a compactação da camada de brita graduada.

Figura 58 - Execução da camada de brita da plataforma do guindaste



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2014)

A plataforma do segundo aerogerador de 3.3 MW foi executada concomitantemente com a plataforma do primeiro, seguiu os mesmos processos de execução, porém o terreno se encontrava na cota 4,56 e deveria atingir a cota 7,5. O solo de fundação, segundo as sondagens apresentavam o mesmo tipo que os demais perfis já analisados. Como já havia a diferença de 2,94 m do fundo da cava (cota 4,56) e a cota final do projeto de 7,5, não foi preciso retirar material, apenas foram depositados os materiais e compactados.

5.4.1.2 Fundação do aerogerador

A outra parte da usina eólica se refere a fundação do aerogerador. O procedimento de execução de aterro foi cauteloso, primeiro por se tratar de aterro sobre solo mole, que requer todos os cuidados já mencionados neste trabalho. Outro aspecto está relacionado ao método executivo da torre, ela foi projetada para que os tramos fossem

conectados formando uma estrutura monolítica, por meio de protensão interna, desta forma, exige mais do sistema solo-fundação.

O procedimento de execução iniciou pela abertura de uma vala de 40 x 30 x 3 m retirando a camada de cinza. Então, se executou a cravação 48 estacas pré-moldadas (32 verticais e 16 inclinadas), em seguida foi executado um bloco de fundação *in loco*. Para então, o aterro ao redor do bloco de fundação com cinza, há 2 m da cota da superfície utilizou argila, e na camada superficial de brita graduada, de espessura de 0,5 m a 1 m.

As cravações das estacas atingiram a nega em 35 a 40 m de profundidade por bate-estaca, conforme Figura 59.

Figura 59 - Cravação de estacas

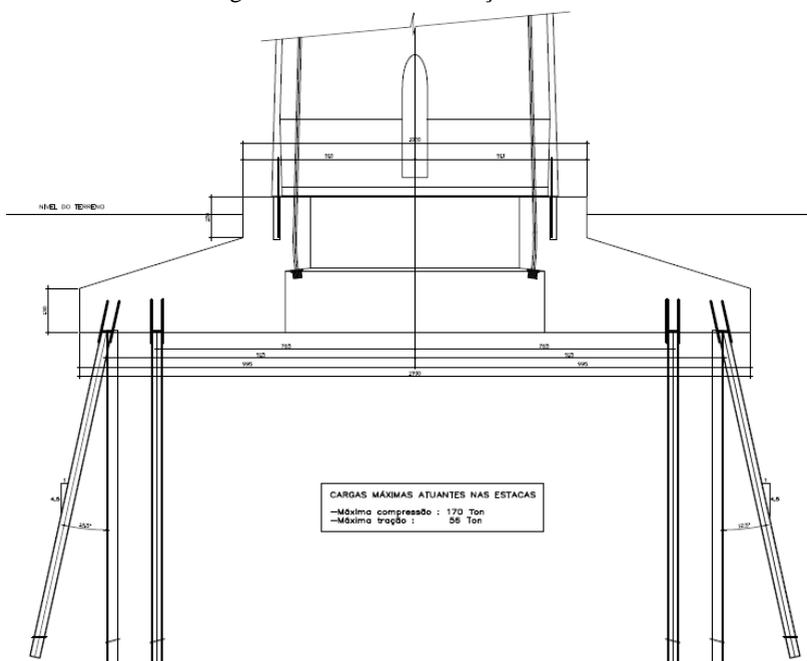


Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2014)

Cada estaca tem uma capacidade 170 toneladas à compressão e 56 toneladas à tração, conforme apresenta em projeto, Figura 60.

A Figura 61 apresenta o projeto de fundação em 3D. A Figura 62 e a Figura 63, apresentam a torre em final de execução e a vista do alto dela, respectivamente.

Figura 60 - Bloco de fundação em corte



Fonte: Acervo da Tractebel Energia (2014)

Figura 61 - Sistema estaca-bloco de fundação em 3D



Fonte: Calter Ingeniería (2014)

Figura 62 - Aero gerador em fase final de montagem



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2015)

Figura 63 - Usina Fotovoltaica, vista da torre do aerogerador



Fonte: Acervo fotográfico da empresa Tractebel Energia (2015)

5.5 ANÁLISE DAS INTERAÇÕES AMBIENTAIS

Os perfis apresentados na Figura 64, fazem parte de uma Investigação Ambiental Confirmatória, realizada em 2009 por Tomiatti *et al.* (2009). O intuito era averiguar as condições ambientais do solo e da água perante o contato direto com a cinza.

Executaram-se 10 sondagens. Os perfis litológicos são mostrados na Figura 64, e recolhimento de amostras do solo, da água e da cinza para análise química. Além disso, realizaram-se ensaios de lixiviação cujo objetivo é avaliar a estabilidade química dos resíduos quando em contato com soluções aquosas.

O relatório concluiu que a concentração dos parâmetros inorgânicos nas amostras de água indicou a presença de Al, As, B, Fe Mn, Mo, Ni Cloreto, Fluoreto e Sulfato em concentrações superiores aos limites de intervenção da CETESB e/ou da Portaria Ministério da Saúde nº 518.

Também, ressalta a presença de Arsênio em amostra da cinza da bacia 1. Não foram detectadas concentrações compostos orgânicos nas águas subterrâneas.

Tomiatti *et al.* (2009) recomendaram a não utilização das cinzas como material de aterro para construção civil e que a empresa geradora do resíduo fizesse a destinação correta da cinza. Porém, como apresentado no item 3.2.31 a aplicação da cinza em área degradada pode ser realizada, tal que, a cinza seja um corpo de aterro isolado do meio por camadas de argilas. Tornando-se uma solução viável para utilização deste resíduo.

Farias (2005), ao estudar a utilização da cinza como mistura solo/cinza pesada para a pavimentação, analisou o risco ambiental de usar esse resíduo e concluiu que a adição de cal contribuiu, consideravelmente, para a redução da concentração de elementos químicos perigosos (mercúrio, chumbo e arsênio).

Em função dos ensaios de caracterização ambiental e as sondagens realizados por Tomiatti *et al.* (2009) foi possível traçar hidrogeológica da bacia, antes do aterro para construção da usina solar e eólica, apresentada na Figura 65.

Figura 64 - Perfis de sondagens

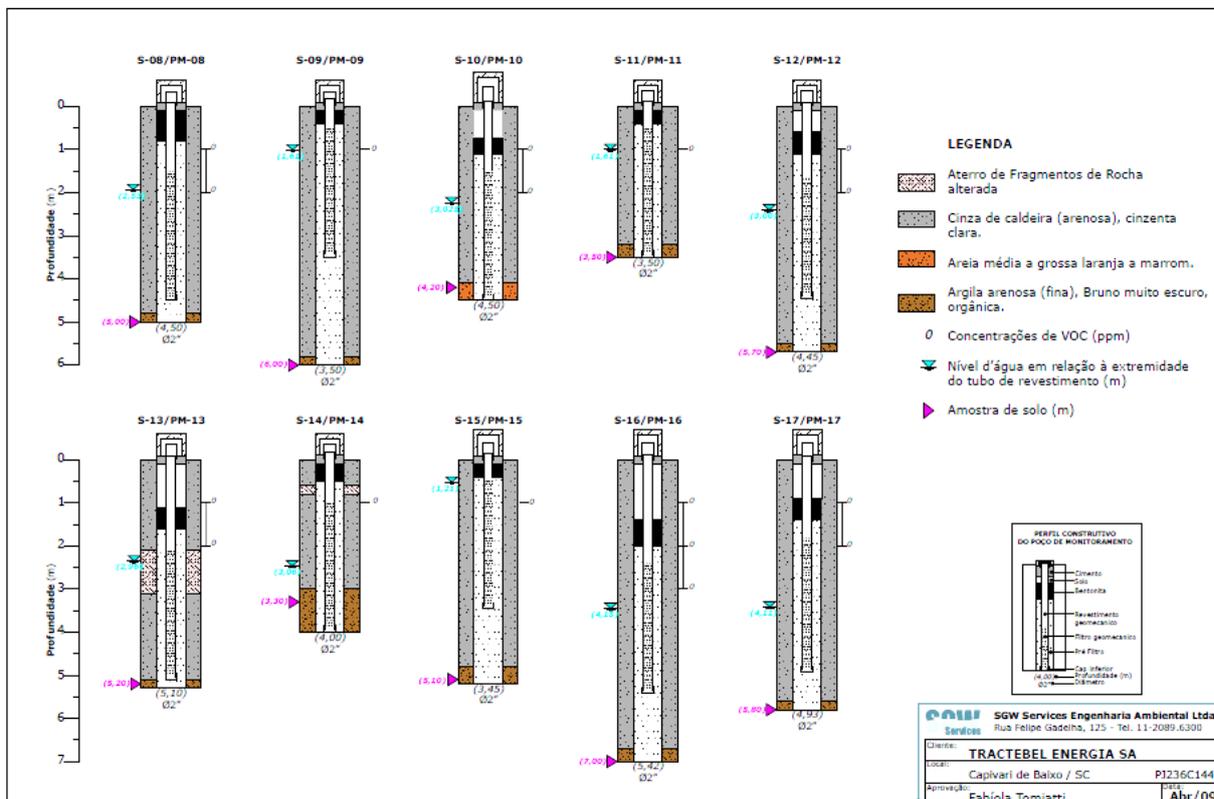
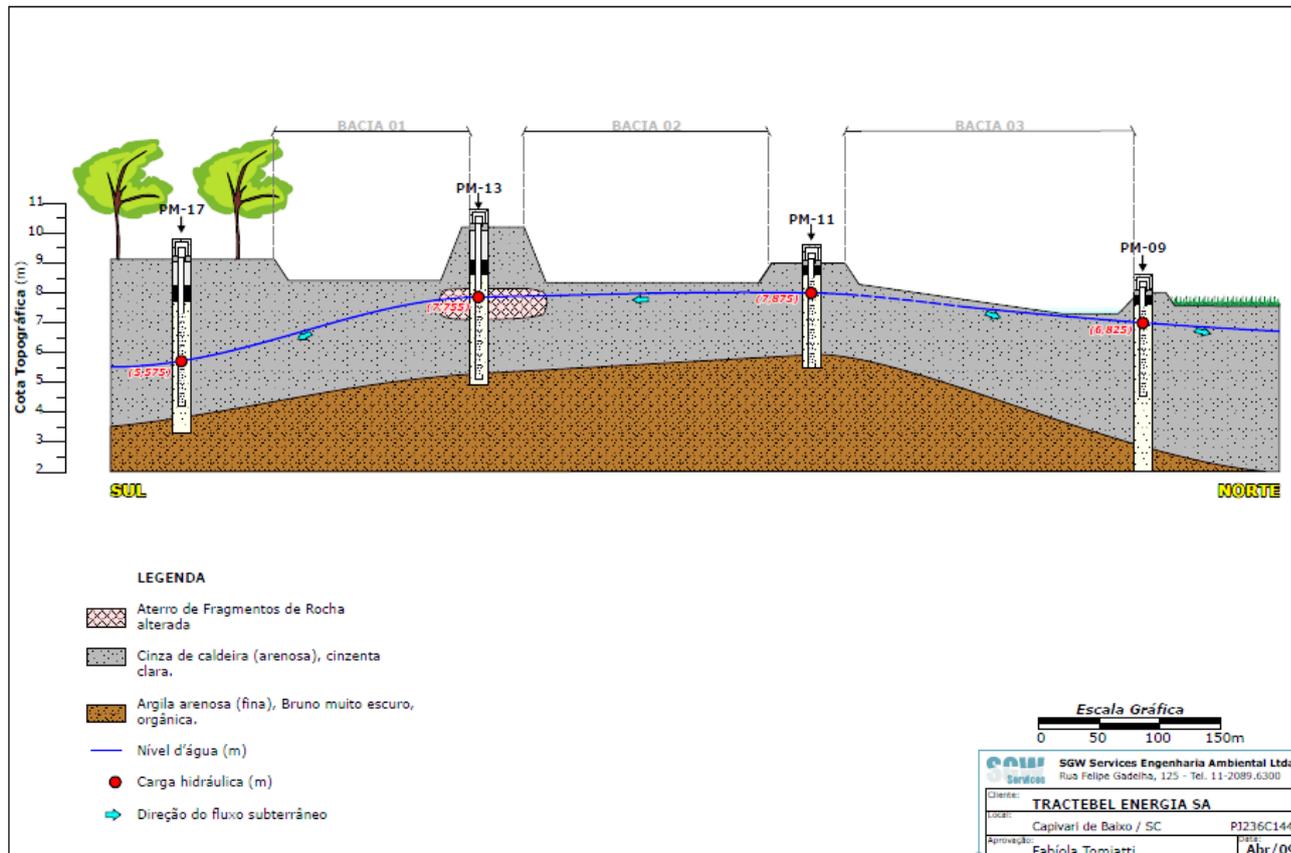
Fonte: Tomiatti *et al.* (2009)

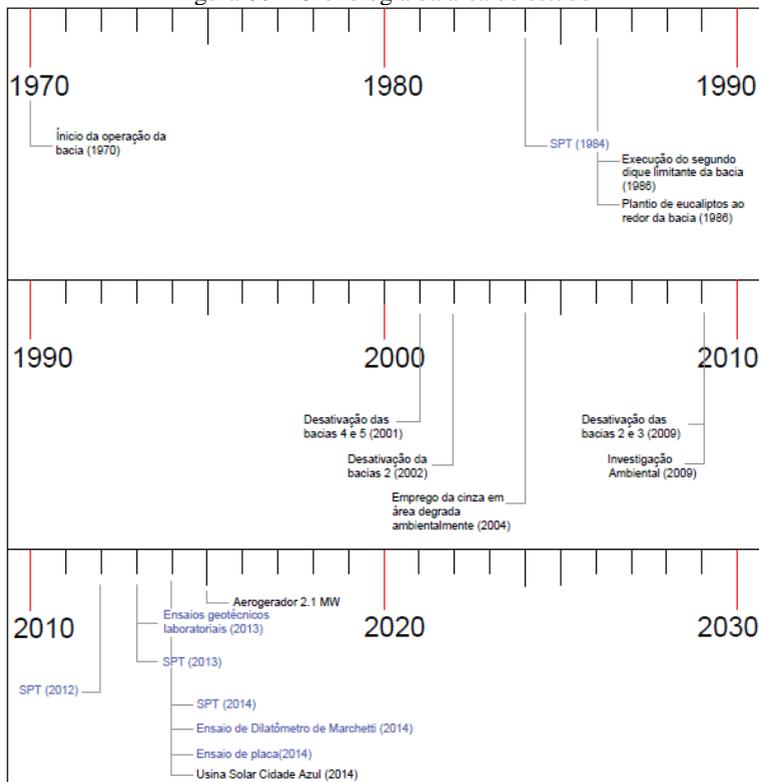
Figura 65 - Seção Hidrogeológica

Fonte: Tomiatti *et al.* (2009)

5.6 CRONOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

O Objetivo principal o trabalho era caracterizar o aterro com o decorrer do tempo, através da linha tempo será apresentado as principais mudanças ocorridas e o ensaios realizados.

Figura 66 – Cronologia da área de estudo



Fonte: Autor.

6 CONCLUSÕES

Os relatórios das empresas executoras de sondagens e ensaios geotécnicos, em conjunto com as fotografias aéreas e em campo, além de entrevistas com funcionários da usina proporcionaram a elaboração da cronologia deste aterro.

Analisar a área de estudo a partir das fotografias aéreas e terrestres foi fundamental para a compreensão das atividades desenvolvidas naquele espaço. Bem como, os depósitos realizados, o manejo das cinzas e a nova ocupação com usinas de energia limpa. Também, mostrou a relevância sócio-econômica que o complexo termelétrico tem sobre o município.

As sondagens foram executadas a fim de determinar a estratigrafia do subsolo e para determinação de parâmetros utilizados no projeto da Usina Eólica. O confrontamento das sondagens antigas com as atuais indicou a ocorrência de adensamento do material em função do tempo e da aplicação de cargas (depósito de cinzas).

Outro aspecto relevante apresentado nas seções dos perfis de sondagens, é que através delas ratificaram o tipo de solo da área estudada, isto é, solos moles de baixa capacidade de suporte. E a origem deste solo, as camadas sobrepostas de argila e areias com presença predominante de matéria orgânica e sedimentos marinhos, reforça a formação por sedimentos recentes aluvionares e eólicos.

A realização de investigação geotécnica em verticais próximas (SPT e Ensaio de Dilatômetro de Marchetti) permitiu a comparação dos ensaios. Observou-se que os índices encontrados pelo ensaio de dilatômetro, que identifica o comportamento granulométrico e a classificação do solo, confrontados com as resistências encontradas pelo SPT apresentaram uma conformidade de resultados. No que diz respeito à definição da estratigrafia do subsolo, os ensaios claramente se completam.

A decisão das técnicas construtivas empregadas para a obra da Usina Eólica foi em função do uso da área. Optou-se por um aterro controlado para plataforma do guindaste, o qual foi utilizado na execução da torre. Adotou-se este método, pois havia prazo longo e, principalmente, material para o corpo do aterro, isto é, cinza oriunda da queima de carvão da usina. A fundação da torre eólica, que exigia maior capacidade do solo, empregou-se aterro sobre elementos de estacas, pois o prazo era mais curto e este método tem, praticamente, recalques pós-construtivos nulos.

As técnicas escolhidas permitiram a redução da ocorrência de recalques pós-construtivos, que para esta obra significa a diminuição de gastos com manutenções posteriores e, principalmente, de risco a saúde dos trabalhadores durante a execução da obra. Visto que, o guindaste e a torre por serem de grande porte têm peso suficiente para levar a ruptura do solo, caso não houvesse melhoria do comportamento mecânico do solo.

Após a execução do aterro foi realizado o ensaio de placa, constatou-se uma resistência adequada à obra, porém sem as correlações necessárias devido ao efeito do aumento da dimensão nos recalques. Todavia, o ensaio demonstrou que a cinza pode ser utilizada como material de aterro. Salienta-se que para projetos futuros executados na área serão necessários novos pontos de ensaios para averiguar tal resistência.

Os aspectos ambientais envolvidos neste aterro requerem certa atenção, o manejo de cinza proveniente da queima de carvão deve ser licenciado por órgãos ambientais competentes. Principalmente pela presença de metais pesados. Por isto, a atual área terá apenas fins de ocupação para o setor da indústria.

Observa-se que no Brasil a prática de implantação de banco de dados de sondagens SPT e de ensaios geotécnicos ainda é escassa, principalmente pelas dificuldades encontradas para obtenção das informações do meio físico junto a empresas executoras dos ensaios. Na maioria dos casos as empresas não reconhecem a importância dessas informações para a comunidade científica, sendo comum a falta de referência geográfica dos pontos de sondagens executadas, localização de coletas das amostras e até mesmo o abandono do acervo após determinado período. Portanto, o recolhimento e análise dos dados deste trabalho contribuíram para obras futuras a serem realizadas na área de estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. S.; MARQUES, M. E. S. **Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho**. São Paulo: Oficinas de Textos, 2010.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 1. ed. Brasília, 2002.

ANEEL. **Matriz energética brasileira**. Brasília, 2014.

Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>

Acesso: 5 abr. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 1984a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6489: Prova de carga direta sobre terreno de fundação**. Rio de Janeiro, 1984c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e Solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio**. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.

BECKER, M. **Capivari de Baixo nos anos 40**. Tubarão, 2009.

Disponível em:

< <http://wp.clicrbs.com.br/diariodolitoralsul/2009/10/09/capivari-de-baixo-nos-anos-1940/?topo=67,2,18,,67&status=encerrado> >

Acesso: 20 de fev. 2015.

BORMA, L. S; MENDONÇA, R. G; SOUZA, V. P; SOARES, P. S. M. **Utilização de cinza no contexto da reabilitação de áreas de mineração de carvão**. In: V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Porto Alegre, 2003.

CABRAL, L. M. M. **Eletrosul 40 anos - Centro da Memória da Eletricidade no Brasil**. Florianópolis, 2008.

CALTER INGENIERIA. **Note on foundation stiffness 32 + 16 hp 310x125 steel piles**. Madrid - ESP, 2014.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, v. 1, 1996.

CHERIAF, M.; ROCHA, J. C.; PÉRA, J. **Pozzolanic properties of pulverized coal combustion bottom ash**. Cement and Concrete Research, volume 29. Elsevier Science Ltd, 1999.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

DAMASCO PENNA. **Ensaio com o Dilatômetro de Marchetti (DMT)**. São Paulo, 2013.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. Tradução da 7.ed. Americana. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

DECOURT, A. **Aterro Hidráulico, Copacabana (1970)**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:

< <http://www.rioquepassou.com.br/2004/06/05/2017/>>

Acesso: 05 de mar. 2015.

DNIT. **Manual de implantação básica de rodovia**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3. ed. Rio de Janeiro, 2010

FARIA, D. M. M. P. **Avaliação da eficiência das técnicas de Execução de aterros hidráulicos e Respectivas técnicas de melhoramento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

FARIAS, V. F. **Capivari de Baixo Capital Termelétrica da América Latina: 40 anos do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda**. Florianópolis: Editora do autor, 2004.

FORMIGHERI, L. E. **Comportamento de um Aterro Sobre Argila Mole da Baixada Fluminense**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Rio de Janeiro, 2003.

FORTES, R. M. **Notas de aula: Ensaios de solos para pavimentação**. São Paulo, 2014. Disponível em:
<<http://www.latersolo.com.br/wp-content/uploads/2015/02/4-CAPACIDADE-DE-SUPORTE-CBR.pdf>>
Acesso: 10 de mar. 2015.

FUGRO. **Relatório de Investigação Geotécnica Técnica WEG-01 GRE-01**. São Paulo, 2014.

FUNDARE ENGENHARIA. **Relatório de serviços técnicos: Prova de carga estática em Placa – PCP**. Porto Alegre, 2014.

GEOTEC. **Relatório de ensaios laboratoriais para fins de terraplanagem e dimensionamentos**. Imbituba, 2013.

GEOTEC. **Relatório de sondagens para simples reconhecimento**. Imbituba, 2014.

GEOTÉCNICA. **Relatório de sondagem para estudo de fundações – SC.148/84/SC**. Criciúma, 1984.

GOULARTI FILHO, A.; MORAES, F. F. **Formação, expansão e desmonte parcial do complexo carbonífero catarinense**. Revista História & Perspectivas. Uberlândia, 2009.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.

IBGE. **O Brasil município por município.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 24 de fev. de 2014.

INMET & LABSOLAR. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil: 1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície.** Brasília, 1998.

LENZI, E. J. **Influência do uso de cinzas da combustão de carvão mineral em argamassas de revestimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LOCKS SONDAGENS. **Relatório de Execução de Sondagens.** Tubarão, 2012.

MACCARINI, M. **Projeto Geotécnico das plataformas das Torres Eólicas 1 e 2 e das vias de acesso em uma área da Termoeletrica Jorge Lacerda, em Capivari de Baixo.** Florianópolis, 2014.

MARGON, P. V. **Influências do Uso das Cinzas de Carvão Mineral de Termelétricas em Argamassa de Revestimento: Dosagem por Curvas Granulométricas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

MASSAD, F. **Solos Marinheiros da Baixada Santista. Características e Propriedades Geotécnicas.** Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2009.

MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil.** 2 ed. São Paulo: Annablume, 2007.

OLIVEIRA, H. M. **Comportamento de aterros reforçados sobre solos moles levados à ruptura**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006.

PIAZZA, J. L.; RUI, V. **Comportamento das cinzas pesadas de carvão mineral como substituto da areia quartzosa em argamassas**. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Vitória, 1999.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

POZZOBON, C. E. **Aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzida no complexo termelétrico Jorge Lacerda**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TUBARÃO. **Município: Dados gerais**. Disponível em: < <http://www.tubarao.sc.gov.br/>>. Acesso em: 16 de fev. de 2015.

ROCHA, J. C.; MALIK, C.; POZZOBON, C.; MAIA, M. S.; MAGRI, L.; XAVIER, S. M. T. **Reaproveitamento das cinzas pesadas do Complexo Jorge Lacerda na elaboração de materiais de construção: aspectos tecnológicos e ambientais**. In: XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, 1999.

RUFINO, R. C.; REIS, A. M.; Figueiredo, G. A. **Estudo Ambiental Simplificado: Usina Eólica Tubarão – UETB**. Tubarão, 2013.

SANTA CATARINA (Estado). **Diagnóstico dos recursos hídricos e organização dos agentes da bacia hidrográfica do Rio Tubarão e Complexo Lagunar**. Florianópolis: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Santa Catarina, 1998.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

SILVA, M. G.; RUFINO, R. C.; LAVINA, L. N. **Relatório Ambiental Preliminar para a Usina Solar Fotovoltaica Nova Aurora**

(UFNA) e o Módulo de Avaliação Fotovoltaica Sul Litoral (CTJL) a serem implantados em Tubarão e Capivari, respectivamente, Estado de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

TOMIATTI, F. B.; SILVA, R. C. M.; ALUANI, S. S. **Investigação Ambiental confirmatória na área das Bacias de Cinzas.** São Paulo, 2009.

TRACTEBEL. **A companhia.** Florianópolis, 2014. Disponível em: <<http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/a-companhia>>. Acesso em 10 fev. 2015.

TRANSDATA. **Plano Rigging – Projeto: Parque Eólico - Torre Cassol.** São Paulo, 2014.

UBERTI, A. A. A. **Santa Catarina: Proposta de Divisão Territorial em Regiões Edafoambientais Homogêneas.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VIEIRA, M. V. C. **Ensaio de dilatômetro na argila mole de Sarapuí.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1994.

ANEXOS

ANEXO A

J-30

GERASUL
WEI-200**GEOTÉCNICA - Geologia e Fundações Ltda.**

Sondagens, Tirantes, Estaqueamento, Consultoria
 C.G.C. 88.817.007/0001-28 — Fone: (DDD) 33-4235 e 35-2501
 Av. Centenário, 3250 - Ed. Schimitz - 2º. Andar - Sala 08 - C. P., 162
 88.500 — CRICIUMA — Santa Catarina



CLIENTE: GERAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL - ELETROSUL
 SERVIÇO: PÁTIO DO DEPÓSITO DE CINZAS DA USINA JORGE LAGERDA-CAPIVARI-RB- SC
 RELATÓRIO Nº: SC.148/84/SC.
 ASSUNTO: SONDAZEN PARA ESTUDO DE FUNDAÇÕES



GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.
Sondagens - Troncos - Estaqueamento e Consultoria

Rel. SC.148/84/SC.

Criciúma(SC), 01 de Outubro de 1.984.

CLIENTE: CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL- ELEPROSUL

SERVIÇO: PÁTIO DO DEPÓSITO DE CINZAS DA USINA JORGE LACERDA
CAPIVARI - TUBARÃO - SANTA CATARINA

ASSUNTO: SONDAJENS PARA ESTUDO DE FUNDAÇÕES

R E L A T Ó R I O

1. INTRODUÇÃO

Estamos apresentando o nosso relatório referente aos serviços geotécnicos realizados para a obra em epígrafe.

2. SERVIÇOS EXECUTADOS

Foram executados 07(Sete) furos de sondagem à Percussão(SP-01 a SP-07), totalizando 140,00 metros em solo.

3. SONDAGEM

As sondagens foram do tipo à Percussão, isto é, executado pelos métodos de percussão com registro do índice de penetração, do amostrador de 34,9mm de diâmetro interno e 50,8mm de diâmetro externo, amostrador do tipo "RAIMOND" "2" em todos os terrenos penetráveis a este tipo de sondagem.

A resistência a penetração do amostrador de percussão é obtido através do número de golpes de um peso de 65Kg caindo em queda livre de 75cm de altura, e fornece a indicação da capacidade dos solos arenosos e siltosos, ou a consistência dos solos argilosos.



GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.
Sondagens - Tirantes - Estoqueamento e Consultoria

.2. do Rel. SC.148/84/SC.

As penetrações registradas por número inteiros no perfil, se referem ao número de golpes para cravar 30cm.

Os números fracionários indicam: no numerador, o número de golpes; no denominador, a penetração correspondente em centímetros.

Esta indicação do numerador de golpes será usada sempre que a penetração for diferente de 30cm.

4. APRESENTAÇÃO DOS SERVIÇOS

A cada furo de sondagem corresponde um perfil individual indicando:

a) O numerador de golpes necessários a cravação do amostrador quando se trata de terrenos penetráveis à Percussão.

b) A classificação das camadas de acordo com a nomenclatura da A.B.N.T.

5. A N E X O S

- Desenhos nº SC.111.367 a SC.111.373 - Perfis individuais dos furos de sondagem.

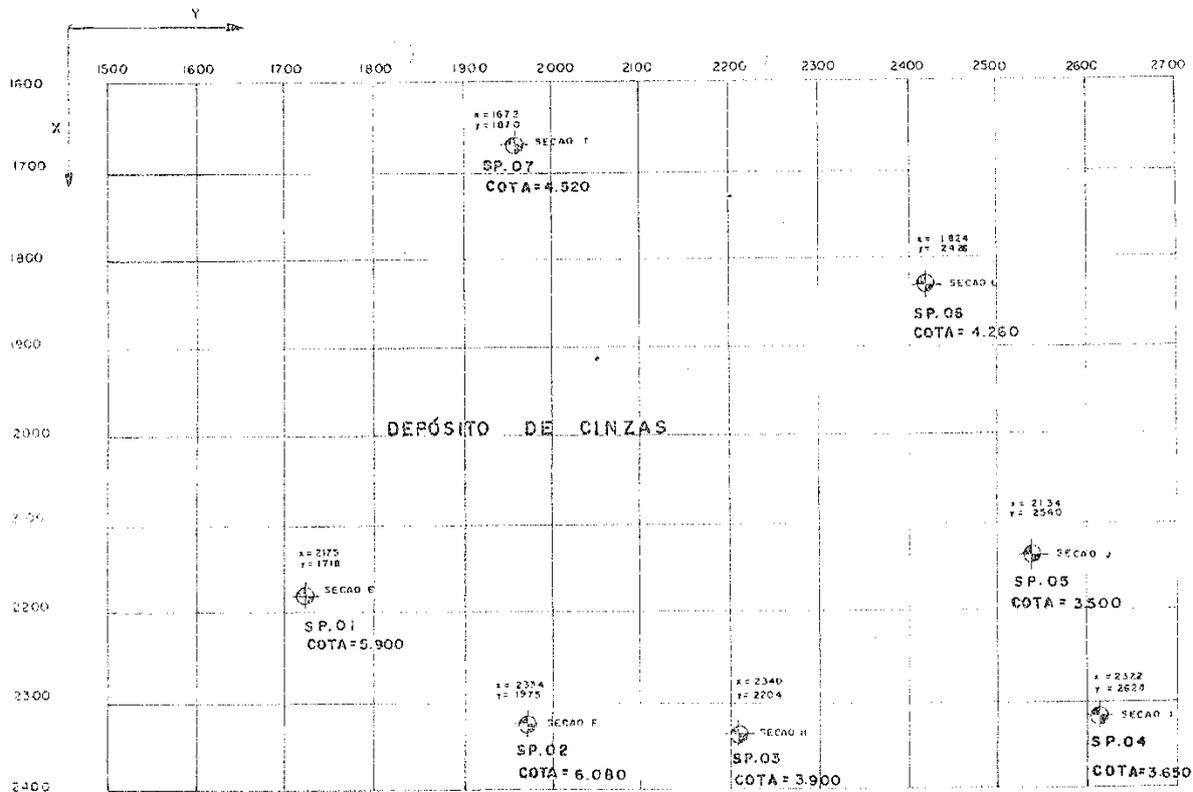
- Planta de locação dos furos de sondagem.

Estamos às ordens para quaisquer esclarecimentos adicionais que julgarem necessários.

Atenciosamente,

GEOTÉCNICA - Geologia e Fundações Ltda.

Reginaldo José Cechinel
REGINALDO JOSÉ CECHINEL
G E O L O G O
CREA 16102 - CPF 416723219-72



PLANTA DE LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM A PERCUSSAO NO PÁTIO DO DEPÓSITO DE CINZAS
DA USINA TERMOELÉTRICA JOSÉ LACERDA - TUBARÃO SC.

Nº	C O T A S		R. A.
	EUROS	INF	
R. N.	7.600		
S P 01	5.900	-14.100	3,20
S P 02	6.080	-13.920	3,18
S P 03	3.900	-15.100	1,10
S P 04	3.650	-15.350	0,80
S P 05	3.500	-15.500	1,05
S P 06	4.250	-15.740	1,45
S P 07	4.520	-15.480	0,60

R N = 7.600

1 = 1360
2 = 1510

GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.

Cliente **CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL - ELETROSUL** R^o SC.148/84/SC

Local **Pátio do Depósito de Cinzas da Usina Jorge Lacerda-Capivari-IB-SG.**

Escala: 1:100 | Data **01/10/84** | Des. **Reginaldo** | Eng. **Reginaldo** | Des. n.º **SC.111.36**

SONDAGEM **SEÇÃO E-SP.01** COTA: **5.900**

Cota em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento	Amostrador	Interno: 76,2 mm 34,9 mm Externo: 50,8 mm Peso 65 kg - Altura de queda: 75 cm
			Penetração: (golpes/30 cm) 1ª e 2ª penetrações		Gráfico				
Nível d'água	Ø de coroa		Nº de golpes		Gráfico				CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	
	1	3,20	1	2					Argila siltosa, com pouca areia fina, cor vermelha, consistência muito mole, aterro.
	2		2	3					
	3	6,20	1	2					Argila pouco siltosa, com pouca areia fina, cor cinza clara, consistência muito mole.
	4		1	1					
	5	7,00	1	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza, consistência muito mole. (lodo)
	6		1	0					
	7	10,20	1	0					Argila com areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
	8		1	0					
	9	17,10	0	0					Argila com pouca areia fina, e fragmentos de carapaças de cal cário, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
	10		0	1					
	11	18,00	1	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
	12		2	1					
	13	20,00	0	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
	14		0	0					
	15		0	0					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
	16		0	0					
	17		1	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
	18		1	1					
	19		1	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
			0	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lodo)
Profundidade do nível d'água					50	60	40	20	
Início: 2,80 m 19/03/84			Recuperação (%)						
Fim: 3,20 m 20/03/84			Fragmentos (m%)						
			Recup. nula						Limite da Sondagem.
			ROTATIVA						

GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.

Cliente: CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL - ELETPROSUL Ref: SC.148/84/S
 Local: Pátio do Depósito de Cinzas da Usina Jorge Lacerda - Capivari-PE-SO
 Escala: 1:100 Data: 01/10/84 Des. de: Reginaldo Empresa: Des. nº SC.111.368

SONDAGEM SEÇÃO F - SF.02

COTA: 6,080

Cota em relação ao R. N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento Amostrador	76,20 mm Interno: 34,3 mm Externo: 50,8 mm Peso 63 kg - Altura de queda: 76 cm	
			Penetração: (golpes/30 cm)		Gráfico				
Nível da água	0		1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	1	2,30	4	5					
	2		1	1					Argila siltosa, com pouca areia fina, cor variegada, consistência muito mole.
	3		1	2					
	4	4,30	1	2					Argila pouco siltosa, com pouca areia fina, cor vermelha, consistência muito mole.
	5		2	2					
	6	5,50	1	2					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
	7	6,20	1	1					
	8		1	2					Argila com areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole (lôdo)
	9		1	2					
	10		1	2					Argila com pouca areia fina, e fragmentos de carapaças de calcário, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
	11	11,05	0	0					
	12		1	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
	13		1	2					
	14		0	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
	15		1	1					
	16		1	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
	17	17,40	1	0					
	18		1	0					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
	19	20,00	1	1					
			0	1					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
Profundidade do nível d'água					80	60	40	20	Limite da Sondagem.
Inicial:	2,68 m	20/09/84			Recuperação (%)				
Final:	3,18 m	21/09/84			Fragmentos (nº)				
					Recup. nula				
					RUTATIVA				

GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.

Cliente **CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL-ELETROSUL** Ref. **SC.148/84/SC**
 Local **Pátio do Depósito de Cinzas da Usina Jorge Lacerda - Capiari-TE-SG**
 Escala: 1:100 | Data **01/10/84** | Des. do **Reginaldo Eng. Civil** | Des. nº **SC.111.369**

SONDAGEM SEÇÃO H -SP.03

COTA: 3.900

Cota em relação ao R. N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento	Amostrador	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
			Penetração: (golpes/30 cm)							Peso 65 kg. - Altura de queda: 75 cm
			1ª e 2ª penetrações		2ª e 3ª penetrações					
Nível d'água	0 da coroa	Nº de golpes		Gráfico						
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40		
	1	3,00	1	1					Argila orgânica com areia fina, cor cinza escura, consistência muito mole.	
	2		1	1						
	3		0	1						
	4	4,50	1	1					Argila com areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)	
	5		0	1						
	6	5	0	0					Argila com pouca areia fina, e fragmentos de carapaças de calcáreo, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)	
	7		1	1						
	8		1	1						
	9		1	1						
	10		1	1						
	11		1	1						
	12		1	1						
	13		1	1						
	14		1	1						
	15		1	1						
	16	16,80	0	1						
	17		2	2						
	18	10	0	0					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)	
	19		1	1						
	20	29,00	0	1					Limite da Sondagem.	
Profundidade do nível d'água					80	60	40	20		
Inicial: 0,80 m 20/09/84					Recuperação (%)					
Final: 1,10 m 24/03/84					Fragmentos (m/N)					
					Recup. nula					
					ROTATIVA					

GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.

Cliente: **CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL - ELETROSUL** | Ref: **SC.148/84/S**
 Local: **Pátio do Depósito de Cinzas da Usina Jorge Lacerda-Capivari-PE-SC**
 Escala: 1:100 | Data: **01/10/84** | Des.: **Reginaldo** | Eng.: **[assinatura]** | Des.: **SC.111.370**

SONDAGEM SEÇÃO I - SP.04 | COTA: **3.650**
 Cota em relação ao R. N.: **0** | Profundidade da camada: **(m)**
 Penetração: (golpes/30 cm) | 1ª e 2ª penetrações | 2ª e 3ª penetrações
 N° de golpes | 1ª e 2ª | 2ª e 3ª | Crítico | 10 | 20 | 30 | 40
 Revestimento: **76,20 mm**
 Amostrador: **Interno: 34,9 mm**
Externo: 50,8 mm
 Peso 60 kg. - Altura de queda: 75 cm
 CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL

Cota em relação ao R. N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL		
			N° de golpes		Crítico				
Nível d'água	0 da coroa		1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	
	1		0	1					Argila orgânica com areia fina, cor preta, consistência muito mole. (lêdo)
	2		1	0					
	3		0	0					
	4	4,20	0	0					
	5		0	1					Argila com pouca areia fina, e fragmentos de carapaças de calcário, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lêdo)
	6		0	0					
	7		0	0					
	8		0	1					
	9		1	0					
	10		0	0					
	11		1	1					
	12		0	1					
	13		1	1					
	14		1	1					
	15		1	1					
	16		1	1					
	17	17,35	0	0					Argila com pouca areia fina, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lêdo)
	18		1	1					
	19		1	0					
			0	0					Limite da Sondagem.

Profundidade do nível d'água: **80 60 40 20**
 Inicial: **x0,60** m **24/09/84**
 Final: ***0,80** m **26/09/84**
 Recuperação (%)
 Fragmento: **mm**
 Recup. máx.
NOTA: Medido durante tempo com chuva.

GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.

Cliente: **CEMPRES ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL - ELEPROSUL** | Ref. SC.148/84/SC
 Local: **Pátio do Depósito de Cinzas da Usina Jorge Lacerda-Capivari-TP-SC**
 Escala: 1:300 | Data: 01/10/84 | Des.º: REGINALDO Eng.º | Des. nº SC.111.372

SONDAGEM SEÇÃO L - SP.06

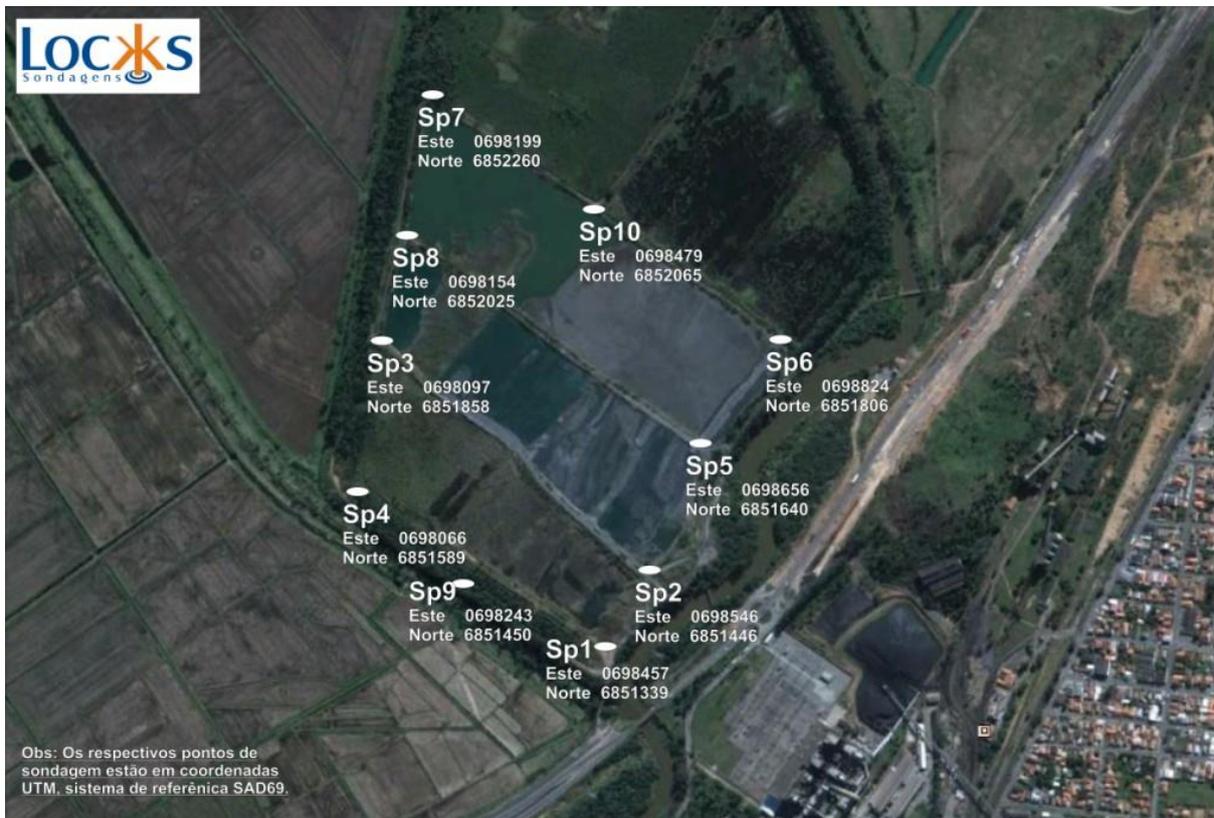
COTA: 4.260

Cota em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da amostra (m)	PERCUSSÃO				Revestimento Amostrador	<input checked="" type="checkbox"/> 76,20mm <input checked="" type="checkbox"/> Interno: 34,9 mm <input checked="" type="checkbox"/> Estreito: 50,8 mm Peso 65 kg - Altura de queda: 75 cm	
			Penetração: (golpes/30 cm) 1ª e 2ª penetrações 2ª e 3ª penetrações		Gráfico				
Nível d'água	0 da coroa		Nº de golpes				CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL		
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	
	1	4,20	1	1					Argila orgânica com areia fina, cor preta, consistência muito mole.
	2		1	0					
	3		0	1					
	4		0	0					
	5	8,15	0	1					Argila com areia fina a grossa, e fragmentos de carapaças de calcáreo, cor cinza.
	6		1	1					
	7		1	0					
	8		0	1					
	9	20,00	1	1					Areia fina a grossa, pouco argilosa, com fragmentos de carapaças de calcáreo, cor variada, fofas.
	10		0	0					
	11		1	1					
	12		0	0					
	13		0	1					
	14		1	1					
	15		0	1					
	16		0	0					
	17		0	0					
	18		1	1					
	19	1	0						
			0	0					
Profundidade do nível d'água			50	60	40	20	Limite da Sondagem.		
			Recuperação (%)						
			Fragmentos em N						
Inicial:	1,30	m	28/09/84		Recup. pela				
Final:	1,45	m	29/09/84		ROTATIVA				

GEOTÉCNICA - GEOLOGIA E FUNDAÇÕES LTDA.

Cliente: CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL - ELETROSUL | Ref. SC.148/84/SC
 Local: Pátio do Depósito de Cinzas na Usina Jorge Lacerda-Capivari-TE-SC
 Escala: 1:100 | Data: 01/10/84 | Des.º: REGINALDO | Ens.º: | Des.º: SC.111.375

SONDAGEM		SEÇÃO T - SP.07		COTA: 4.520					
Cota em relação ao R. N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	PERCUSSÃO				Revestimento		
			Penetração: (golpes/30 cm)				Amostrador		
Nível d'água	O da coroa	Nº de golpes	Gráfico				Peso 65 kg. - Altura de queda: 75 cm		
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
	1	0	0						Cinza de carvão, Aterro.
	2	0	0						
	3	1	1						Argila com areia fina, cor vermelha, consistência muito mole. (lôdo)
	4	1	1						
	5	1	1						Argila com areia fina, cor cinza, consistência muito mole. (lôdo)
	6	1	1						
	7	1	1						Argila com areia fina, cor marrom, consistência muito mole. (lôdo)
	8	0	0						
	9	1	1						Argila com areia fina, e fragmentos de carapaças de calcário, cor cinza escuro, consistência muito mole. (lôdo)
	10	1	1						
	11	0	1						
	12	0	1						
	13	0	1						
	14	1	1						
	15	1	1						
	16	1	1						
	17	0	1						
	18	1	1						
	19	1	1						
	20,00	1	1						
Profundidade do nível d'água			50	60	40	20	Limite da Sondagem.		
Inicial:	0,50 m	29.09.84	Recuperação (%)		Fragmentos (n.º)				
Final:	0,60 m	01.10.84	Recup. mole		RUTATIVA				



		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA:003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO:Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-1		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 18/01/12	TÉRMINO:20/01/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND			I	F
				No. DE GOLPES				
			10	20	30			
	1		Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).	2			2	2
	2			3			2	3
	3			2			2	2
	4			0			1	0
	5			0			45	0
	6			2			2	2
	7	6.80	Argila, coloração cinza escura, com presença de matéria orgânica, de consistência muito mole.	3			2	3
	8			2			2	2
	9		Areia média, coloração cinza, fofa.	2			2	2
	10	9.75		4			3	4
	11	10.70	Areia média a fina, coloração cinza, pouco compacta.	8			6	8
	12	12.30		6			7	6
	13	12.80	Areia média, coloração cinza, pouco compacta.	4			4	4
	14	14.40		2			3	2
	15	15.20	Argila arenosa, coloração cinza, com presença de sedimentos marinhos, de consistência muito mole.	2			2	2
	16			2			2	2
	17		Argila, coloração cinza, de consistência muito mole.	2			2	2
	18	18.50		2			2	2
			Continua na Próxima Página				2	2
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA				
REVEST.: 3,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 42,30 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 18/01/12 FINAL: 3,10m em 21/01/12				
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR								

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br										
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12							
LOCAL: Bacia de Cinza												
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks									
SONDAGEM: SP-1		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 18/01/12	TÉRMINO: 20/01/12								
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				Golpes Iniciais e Finais				
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND								
				No. DE GOLPES				I	F			
2	10	20	30									
	19		Argila, coloração cinza, de consistência muito mole.	2					2	2		
	20			2						2	2	
	21			1					2	45	1	
	22			2						2	2	
	23			0					1	45	0	
	24			0					2	2	2	
	25			0					1	45	0	
	26			2						2	2	
	27			2						2	2	
	28			2						2	2	
	29		1					1	45	1		
	30		1					2	45	1		
	31	30.50						0	45	0		
	32		Argila, coloração cinza, de consistência muito mole.	2					2	2		
	33			0					1	45	0	
	34			1					2	45	1	
	35			2						2	2	
	36			2						2	2	
		36.50	Continua na Próxima Página						2	2		
AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA									
REVEST.: 3,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 42,30 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO		INICIAL: NFE em 18/01/12		FINAL: 3,10m em 21/01/12					
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR												

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revovedo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br							
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12				
LOCAL: Bacia de Cinza									
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks						
SONDAGEM: SP-1		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 18/01/12	TÉRMINO: 20/01/12					
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND					
				No. DE GOLPES					
				2	10	20	30	I	F
	37		Argila arenosa, coloração cinza, de consistência muito mole passando para dura.	2				2	2
	38			2				2	2
	39			1				2	1
	40			2				45	2
	41			2				2	2
	42	42.30			2			45	2
			IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO					16	27
			Observações:						
			- Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.						
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA					
REVEST.: 3,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 42,30 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 18/01/12				FINAL: 3,10m em 21/01/12	
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR									

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revedo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-2		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 23/01/12	TÉRMINO: 24/01/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
	1		Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).	2			2	2
	2			3			2	3
	3			2			2	2
	4			9			12	9
	5			4			5	4
	6			1			3	1
	7	6.60	Cinza, com presença de argila coloração marrom.	2			2	2
	8	7.40	Argila, coloração variegada (marrom e cinza), de consistência muito mole.	1			2	1
	9	8.10	Argila, coloração cinza, com presença de matéria orgânica, de consistência muito mole.	2			2	2
	10	10.20		0			1	0
	11		Argila arenosa, coloração cinza, de consistência muito mole.	15			1	1
	12			2			2	2
	13	12.60	Areia média, coloração amarelada, com presença de matéria orgânica, fofa.	2			2	2
	14			2			2	2
	15			1			2	1
	16			2			2	2
	17			1			2	1
	18	17.80	Continua na Próxima Página				2	2
AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA					
REVEST.: 4,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 28,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO			INICIAL: NFE em 23/01/12		
						FINAL: 3,50m em 25/01/12		
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR								

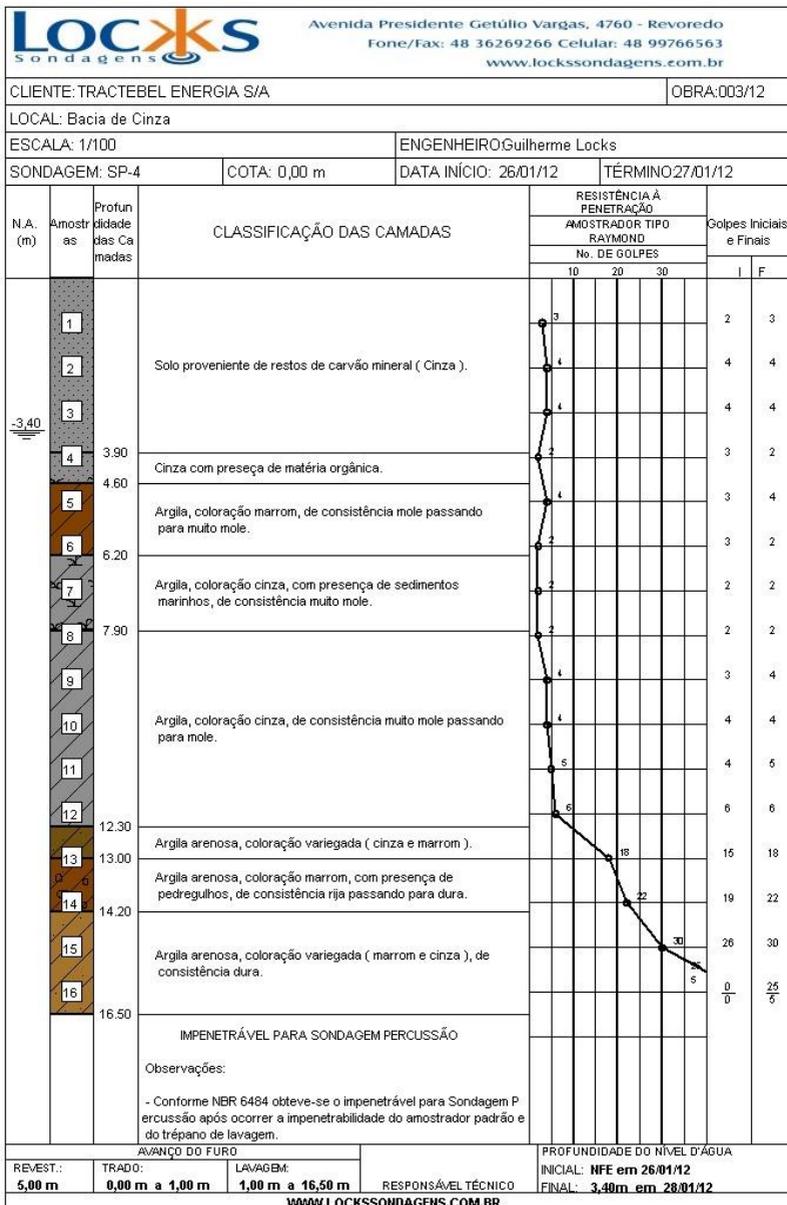
		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revovedo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br								
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A				OBRA: 003/12						
LOCAL: Bacia de Cinza										
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks							
SONDAGEM: SP-2		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 23/01/12	TÉRMINO: 24/01/12						
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				Golpes Iniciais e Finais		
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND						
				No. DE GOLPES				I	F	
1	10	20	30							
	19		Argila arenosa, coloração cinza, com presença de sedimentos marinhos, de consistência muito mole.	2					2	2
	20			15					1	15
	21			2					2	2
	22			2					2	2
	23			1					2	1
	24			0					1	0
	25			0					1	0
	26			0					1	0
	27	27.10		0					1	0
	28			0					1	0
	29	28.80	2					2	2	
			Areia média argilosa, coloração cinza, compacta.					30	19	30
			IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO					1	0	25
			Observações: - Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.					0	0	1
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA						
REVEST.: 4,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 28,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 23/01/12		FINAL: 3,50m em 25/01/12				

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-3		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 25/01/12	TÉRMINO: 26/01/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
	1	1.33	Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).	2			2	2
	2	2.20	Argila arenosa, coloração variegada (cinza, amarelo e branco), de consistência mole.	5			3	5
-2.80	3			4			4	4
	4		Argila, coloração cinza escuro, pouco arenosa, de consistência variando entre muito mole e mole.	2			3	2
	5			5			3	5
	6			2			2	2
	7	6.60	Argila, coloração marrom, de consistência muito mole.	2			2	2
	8			2			2	2
	9	9.20	Argila, coloração cinza, com presença de sedimentos marinhos, de consistência muito mole.	1			2	1
	10			0			1	0
	11			0			1	0
	12			1			2	1
	13			2			2	2
	14			1			2	1
	15	14.80	Continua na Próxima Página				9	5

AVANÇO DO FURO			RESPONSÁVEL TÉCNICO		PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 18,60 m			INICIAL: NFE em 25/01/12	FINAL: 2,80m em 27/01/12

WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br							
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A						OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza									
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks						
SONDAGEM: SP-3		COTA: 0,00 m		DATA INÍCIO: 25/01/12		TÉRMINO: 26/01/12			
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND					
				No. DE GOLPES				9	F
				1	10	20	30		
	16		Areia média argilosa, coloração cinza, pouco compacta passando para muito compacta.	5					5
	17			6					6
	18	18,60		35					35
			IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO	40					40
			Observações:						
			- Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.						
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA					
REVEST.:	TRADO:	LAVAGEM:	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 25/01/12					
5,00 m	0,00 m a 1,00 m	1,00 m a 18,60 m		FINAL: 2,80m em 27/01/12					



		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revovedo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-5		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 30/01/12	TÉRMINO: 31/01/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
	1		Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).	4			3	4
	2			6			6	6
	3			4			5	4
-2,80	4	3,90	Areia média, coloração variegada (cinza, amarelo e preto), tofa.	4			4	4
	5	4,95	Areia média, coloração variegada (cinza, amarelo e preto), com presença de matéria orgânica, tofa.	4			4	4
	6			3			4	3
	7	6,85	Argila arenosa, coloração cinza, de consistência muito mole.	2			2	2
	8			2			2	2
	9			0			1	0/0
	10			0			2	1
	11		Argila arenosa, coloração cinza, com presença de matéria orgânica, de consistência muito mole.	2			2	2
	12	11,80		2			2	2
	13	12,60	Areia média, coloração cinza, com presença de matéria orgânica, tofa.	4			3	4
	14			4			4	4
	15			5			4	5
	16	16,30	Continua na Próxima Página	4			4	4
							3	2

AVANÇO DO FURO					PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 27,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO		INICIAL: NFE em 30/01/12
					FINAL: 2,80m em 01/02/12
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR					

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br									
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A				OBRA: 003/12							
LOCAL: Bacia de Cinza											
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks								
SONDAGEM: SP-5		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 30/01/12	TÉRMINO: 31/01/12							
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		Golpes Iniciais e Finais					
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND							
				No. DE GOLPES							
				4	10	20	30	I	F		
	17	19.30	Areia média argilosa, coloração cinza, com presença de sedimentos marinho, tofa.	2				3	2		
	18					3				3	3
	19					2				2	2
	20					1				2	1
	21					15				1	1
	22					2				2	2
	23					2				2	2
	24					0				1	0
	25					0				46	0
	26					2				2	2
	26.50	26.50	Argila arenosa, coloração cinza, de consistência dura.	4				3	4		
	27				20				26	26	
	27.80	27.80	IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO					0	0		
	28								0	1	
Observações:											
- Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.											
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA							
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 27,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 30/01/12	FINAL: 2,80 m em 01/02/12						
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR											

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-6		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 31/01/12	TÉRMINO: 02/02/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
	1		Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).	5			4	5
	2			5			6	5
	3	3.10		3			4	3
	4		Argila, coloração cinza, pouco arenosa, de consistência mole passando para muito mole.	2			2	2
	5	4.90	Argila, coloração variegada (cinza e marrom), de consistência muito mole.	2			2	2
	6	5.80	Argila, coloração cinza, com presença de matéria orgânica, de consistência muito mole.	2			2	2
	7	6.70	Argila arenosa, coloração variegada (cinza e marrom), de consistência muito mole.	1			2	1
	8	8.20		0			1	0
	9			2			2	2
	10		Argila, coloração cinza, com presença de matéria orgânica, de consistência muito mole.	1			2	1
	11			15			1	15
	12			2			2	2
	13	13.20		1			2	1
	14	14.40	Areia média, coloração cinza, com presença de matéria orgânica, fofa	0			1	0
			Continua na Próxima Página	0			2	2
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA				
REVEST.: 4,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 180,00 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 31/01/12 FINAL: 3,20m em 03/02/12				
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR								

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-6		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 31/01/12		TÉRMINO: 02/02/12			
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
0								
	15		Argila, coloração cinza, com presença de sedimentos marinhos, de consistência muito mole.				2	2
	16						2	2
	17	16.65	Argila arenosa, coloração variegada (cinza e marrom), de consistência dura.			20	16	20
	18	18.30	IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO				49	35 15
			Observações:					
			- Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.					
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA				
REVEST.: 4,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 180,00 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 31/01/12				
				FINAL: 3,20m em 03/02/12				
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR								

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revovedo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-7		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 02/02/12	TÉRMINO: 06/02/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
	1		Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).	4			4	4
	2	1.80		4			4	4
	3		Argila arenosa, coloração variegada (cinza e marrom), de consistência variando entre mole e média.	6			5	6
	4			4			5	4
	5	5.20		3			4	3
	6		Argila arenosa, coloração cinza, com presença de matéria orgânica, de consistência muito mole.	2			2	2
	7			2			2	2
	8	7.80		2			2	2
	9		Argila arenosa, coloração cinza, de consistência muito mole.	2			2	2
	10			2			2	2
	11			1			2	1
	12			15			1	15
	13			0			1	0
	14		0			1	0	
	15	14.90	Continua na Próxima Página	0			1	0

AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	
REVEST.: 7,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 41,00 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	
			INICIAL: NFE em 02/02/12	
			FINAL: 2,90m em 07/02/12	

WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br								
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12					
LOCAL: Bacia de Cinza										
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks							
SONDAGEM: SP-7		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 02/02/12	TÉRMINO: 06/02/12						
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		Golpes Iniciais e Finais				
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND		No. DE GOLPES				
				4	10	20	30	I	F	
	28		Areia média argilosa, coloração cinza, com presença de sedimentos marinhos e matéria orgânica, fina.							
	29									
	30									
	31									
	32									
	33									
	34									
	35									
	36									
	37									
	38									
	39									
	40	39,80		Argila arenosa, coloração cinza, de consistência rija passando para dura.						
	41	41,20	IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO Observações: - Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.							
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA						
REVEST.: 7,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 41,00 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO		INICIAL: NFE em 02/02/12	FINAL: 2,90 m em 07/02/12				

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-8		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 09/02/12	TÉRMINO: 13/02/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
	1		Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).				7	9
	2	2.15	Areia média a grossa, coloração marrom, pouco argilosa.				10	11
	3	2.75	Areia média a grossa, coloração marrom, pouco compacta.				8	7
	4	3.80	Areia média a grossa, coloração marrom, pouco argilosa, fofa.				2	2
	5	4.75	Areia média a grossa, coloração cinza escura, pouco argilosa e com presença de matéria orgânica, fofa.				3	4
	6	5.20					2	2
	7		Areia média, coloração cinza, pouco argilosa e com pouco sedimentos marinhos, de consistência muito mole.				2	3
	8	7.70	Areia média, coloração cinza, pouco argilosa, fofa.				2	2
	9						2	3
		9.50	Continua na Próxima Página				2	3
AVANÇO DO FURO						PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA		
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 26,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO		INICIAL: NFE em 09/02/12 FINAL: 2,70m em 14/02/12			
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR								

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br							
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12				
LOCAL: Bacia de Cinza									
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks						
SONDAGEM: SP-8		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 09/02/12	TÉRMINO: 13/02/12					
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND					
				No. DE GOLPES					
				3	10	20	30	I	F
	10		Argila, coloração cinza claro, pouco arenosa, de consistência variando entre muito mole a rija.	3				2	3
	11			3				2	3
	12			2				2	2
	13			1				3	4
	14			3				2	3
	15			2				2	2
	16			3				2	3
	17			2				2	2
	18			3				2	3
	19			2				2	2
	20			9				6	9
	21			11				8	11
	22			14				10	14
	23		10				8	10	
		23.65	Continua na Próxima Página	8				6	8
				6					

AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 26,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 09/02/12
				FINAL: 2,70m em 14/02/12

WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br							
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12				
LOCAL: Bacia de Cinza									
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks						
SONDAGEM: SP-8		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 09/02/12	TÉRMINO: 13/02/12					
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND					
				No. DE GOLPES					
				3	10	20	30	I	F
	10		Argila, coloração cinza claro, pouco arenosa, de consistência variando entre muito mole a rija.	3				2	3
	11			3				2	3
	12			2				2	2
	13			1				3	4
	14			3				2	3
	15			2				2	2
	16			3				2	3
	17			2				2	2
	18			3				2	3
	19			2				2	2
	20			9				6	9
	21			11				8	11
	22			14				10	14
	23		10				8	10	
		23.65	Continua na Próxima Página	8				6	8
				6					

AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 26,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 09/02/12
				FINAL: 2,70m em 14/02/12

WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br							
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A						OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza									
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks						
SONDAGEM: SP-8		COTA: 0,00 m		DATA INÍCIO: 09/02/12		TÉRMINO: 13/02/12			
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais		
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND					
				No. DE GOLPES			I	F	
				10	10	20	30		
	24		Argila arenosa, coloração variegada (marrom claro, marrom e cinza), de consistência média passando para dura.					6	8
	25							6	9
	26							9	10
	27	26,90	IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO					0	35
			Observações:					0	10
			- Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.						
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA					
REVEST.:	TRADO:	LAVAGEM:	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 09/02/12			FINAL: 2,70m em 14/02/12		
5,00 m	0,00 m a 1,00 m	1,00 m a 26,80 m							

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A				OBRA: 003/12				
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-9		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 06/02/12	TÉRMINO: 08/02/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		Golpes Iniciais e Finais		
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND		No. DE GOLPES		
				10	20	30	I	F
	1	0.15	Argila arenosa, coloração marrom avermelhado.					
	2		Solo proveniente de restos de carvão mineral (Cinza).	10			9	10
	3			3			2	3
	4			1			1	1
	5			2			2	2
	6			2			2	2
	7	6.60		Argila, coloração cinza, de consistência muito mole.	1			2
	8		Argila, coloração cinza escura, pouco arenosa, de consistência muito mole.	0			1	0
	9	8.80		0			1	0
	10	9.70	Argila, coloração cinza escura, pouco arenosa, de consistência muito mole.	0			1	1
	11		Areia fina argilosa, coloração cinza, tofa.	15			3	4
	12	11.20	Areia fina argilosa, coloração variegada (cinza e marrom), medianamente compacta.	4			6	9
	13	13.00		9			9	12
			Continua na Próxima Página	2			4	4

AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 44,80 m	INICIAL: NFE em 06/02/12	FINAL: 3,80m em 09/02/12

RESPONSÁVEL TÉCNICO
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br							
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12				
LOCAL: Bacia de Cinza									
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks						
SONDAGEM: SP-9		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 06/02/12	TÉRMINO: 08/02/12					
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		Golpes Iniciais e Finais			
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND					
				No. DE GOLPES					
				4	10	20	30	I	F
	14		Argila, coloração cinza, com presença de sedimentos marinhos, de consistência muito mole.	2				4	4
	15			2				2	2
	16			2				2	2
	17			0				1	0
	18			0				1	0
	19	19,70		15				1	1
	20		Argila, coloração cinza, de consistência muito mole.	2				2	2
	21			2				2	2
	22			2				2	2
	23			15				1	1
	24			0				1	0
	25	25,50		0				1	0
			Continua na Próxima Página	0				1	0
				0				1	0

AVANÇO DO FURO			RESPONSÁVEL TÉCNICO		PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 44,80 m			INICIAL: NFE em 06/02/12	FINAL: 3,80m em 09/02/12

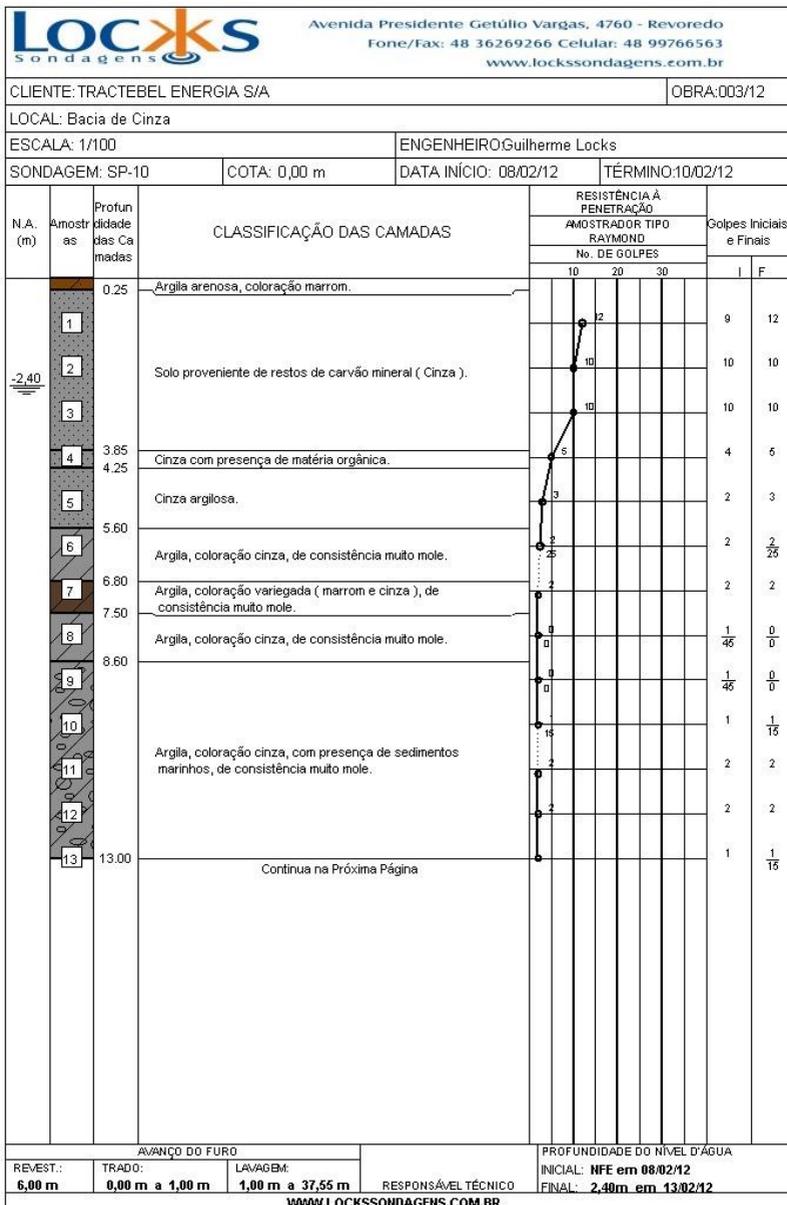
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revoredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-9		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 06/02/12	TÉRMINO: 08/02/12				
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES			I	F
				10	20	30		
0	26			0			1	0
	27			0			1	0
	28			15			1	1
	29			2			2	2
	30			1			2	1
	31			15			1	1
	32			0			1	0
	33		Argila, coloração cinza, de consistência muito mole.	2			2	2
	34			2			2	2
	35			2			2	2
	36			2			2	2
	37			2			2	2
	38			15			1	1
	39			2			2	2
	40	39.50	Argila, coloração cinza, pouco arenosa e com presença de matéria orgânica, de consistência muito mole.	2			3	2
	41	40.70	Argila, cinza claro, de consistência muito mole passando para mole.	2			2	2
	42	42.60	Continua na Próxima Página	5			3	5
							15	22

AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA	
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 44,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 06/02/12
				FINAL: 3,80 m em 09/02/12

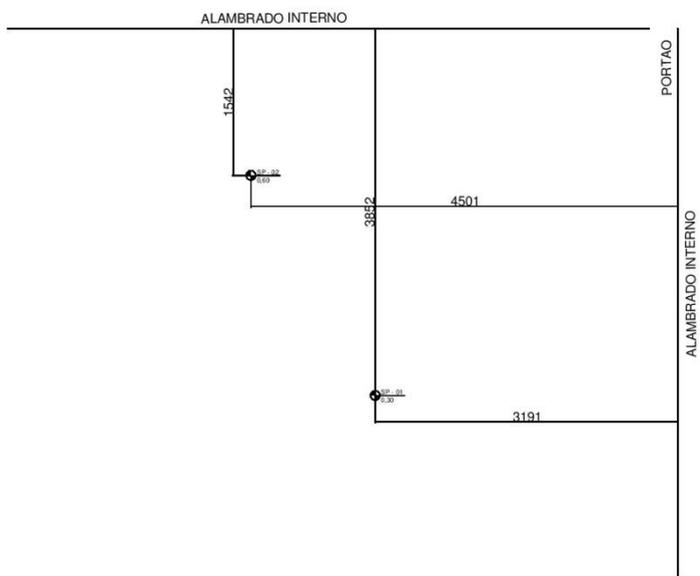
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revovedo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A						OBRA: 003/12		
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-9		COTA: 0,00 m		DATA INÍCIO: 06/02/12		TÉRMINO: 08/02/12		
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND				
				No. DE GOLPES				
				s10	20	30	I	F
	43		Argila, coloração cinza, pouco arenosa, de consistência dura.				15	22
	44						24	30
	45	44,80	IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO				0	25
			Observações:				0	5
			- Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.					
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA				
REVEST.: 5,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 44,80 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 06/02/12 FINAL: 3,80m em 09/02/12				



		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br							
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12				
LOCAL: Bacia de Cinza									
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks						
SONDAGEM: SP-10		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 08/02/12	TÉRMINO: 10/02/12					
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND					
				No. DE GOLPES				1	F
				1	10	20	30	1	F
	14		Argila, coloração cinza, de consistência muito mole.	1				2	1
	15			2				2	2
	16			2				2	2
	17			2				3	2
	18			0				1	0
	19			0				1	0
	20			0				1	0
	21			1				2	1
	22			15				1	1
	23			2				2	2
	24			2				2	2
	25			2				2	2
	26			2				2	2
	27	26.80		4				3	4
	28	28.60	8				7	8	
	29	29.70	9				7	9	
			12				9	12	
AVANÇO DO FURO			PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA						
REVEST.: 6,00 m	TRADO: 0,00 m a 1,00 m	LAVAGEM: 1,00 m a 37,55 m	RESPONSÁVEL TÉCNICO		INICIAL: NFE em 08/02/12 FINAL: 2,40m em 13/02/12				

		Avenida Presidente Getúlio Vargas, 4760 - Revredo Fone/Fax: 48 36269266 Celular: 48 99766563 www.lockssondagens.com.br						
CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A					OBRA: 003/12			
LOCAL: Bacia de Cinza								
ESCALA: 1/100			ENGENHEIRO: Guilherme Locks					
SONDAGEM: SP-10		COTA: 0,00 m	DATA INÍCIO: 08/02/12		TÉRMINO: 10/02/12			
N.A. (m)	Amostr as	Profun didade das Ca madas	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO			Golpes Iniciais e Finais	
				AMOSTRADOR TIPO RAYMOND			I	F
				No. DE GOLPES				
				10	20	30		
	30		Argila, coloração variegada (marrom claro, marrom e cinza), pouco arenosa, de consistência média passando para dura.	10	12	15	9	12
	31			8	8	10	7	8
	32			8	8	10	7	8
	33			11	11	13	7	11
	34			14	14	17	10	14
	35			22	22	25	15	22
	36			44	44	47	30	44
	37			25	25	28	0	25
	38	37,80	IMPENETRÁVEL PARA SONDAGEM PERCUSSÃO	10	10	10	0	10
			Observações:					
			- Conforme NBR 6484 obteve-se o impenetrável para Sondagem Percussão após ocorrer a impenetrabilidade do amostrador padrão e do trépano de lavagem.					
AVANÇO DO FURO				PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA				
REVEST.:	TRADO:	LAVAGEM:	RESPONSÁVEL TÉCNICO	INICIAL: NFE em 08/02/12				
6,00 m	0,00 m a 1,00 m	1,00 m a 37,55 m		FINAL: 2,40m em 13/02/12				
WWW.LOCKSSONDAGENS.COM.BR								





Tubarão – SC, 04 de Dezembro de 2013.

À TRACTEBEL ENERGIA S/A

TUBARÃO- SC

Prezados Senhores,

Pela presente vimos colocar a disposição de V. S.as o nosso departamento técnico, bem como o laudo de sondagem para qualquer esclarecimento que se fizerem necessário.

Sem mais para o momento, aproveitamos a oportunidade para apresentar os nossos protestos de estima e consideração.

Atenciosamente,

J. B. ESTAQUEAMENTOS



RELATÓRIO DE SONDAGEM 037/2013

CLIENTE: TRACTEBEL ENERGIA S/A
OBRA: USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NOVA AURORA
LOCAL:CAPIVARI DE BAIXO - SC
ASSUNTO: SONDAGEM S.P.T.

1. INTRODUÇÃO

Estamos apresentando o relatório referente aos serviços de investigação geotécnica em referência.

2. SERVICOS EXECUTADOS

Os serviços consistiram na execução de **02 (dois)** furos de sondagem S.P.T (sondagem à percussão) com circulação de água, numerados **SP-01 e SP-02** perfazendo-se um total de **74,60 metros perfurados**.

3. PROCEDIMENTOS

As sondagens foram executadas segundo a ABNT-NBR 6484/2001, sendo iniciadas com a utilização de um trado helicoidal. Para os ensaios de penetração dinâmica foi utilizado um amostrador-padrão do tipo RAYMOND 2^o com diâmetro interno de 34,9 mm e diâmetro externo de 50,8 mm. Após o posicionamento do amostrador em cada uma das cotas de amostragem, foram marcados sobre as hastes de perfuração três segmentos de 15 cm cada, contados a partir do topo do tubo de revestimento. Para efetuar a cravação do amostrador, um martelo de 65 Kg foi erguido à uma altura de 75 cm, contados a partir do topo da cabeça de bater, e em seguida deixado cair livremente. Foram, então, anotados o número de golpes necessários à cravação de cada 15 cm do amostrador.

Os resultados do ensaio SPT são expressos pela soma do número de golpes necessários à cravação dos primeiros e dos últimos 30 cm. O índice de resistência à penetração (N) equivale aos valores obtidos, em cada metro, nos últimos 30 cm do amostrador. Esse índice fornece a compacidade nos solos arenosos e siltosos (não coesivos) e consistência dos solos (coesivos). Nos casos em que não ocorreu a penetração dos 45 cm do amostrador, os resultados são apresentados sob a forma de frações ordinárias.

A identificação e classificação das amostras foram realizadas segundo a NBR 7250/1982.



Caso seja necessária alguma verificação, as amostras estarão à disposição na empresa por um período de 07 dias.

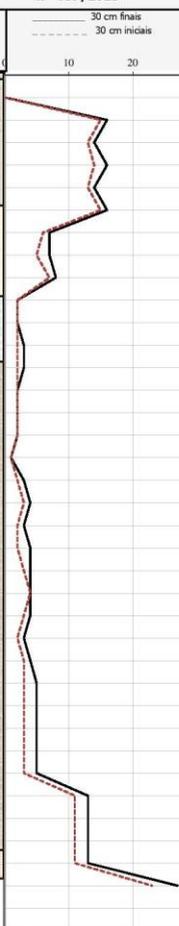
4. ANEXOS

- 02 Perfis individuais dos furos de sondagem;
- 01 Croqui de Localização dos furos.

Sem mais para o momento, colocamo-nos à inteira disposição para quaisquer esclarecimentos.
Atenciosamente,

Tubarão, 04 de Dezembro de 2013

JB ESTAQUEAMENTOS LTDA

 J.B. Estaqueamentos <small>Bate Estaca Perfuratriz</small> <small>Tudo para qualidade e Segurança de sua Obra (48) 3626.2867 / 9143.4695 Rua Antonio Mattioli - Vila Nova - São Paulo - SP CEP: 04706-000</small>		Cliente: TRACTEBEL ENERGIA S/A Obra: USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NOVA AURORA Local: CAPIVARI DE BAIXO - SC											
Revestimento	Método craseado	Cota relação R.N.	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice de SPT inicial/30cm	Índice SPT final/30cm	Amostras	Prof. Camadas (m)	Relatório de Sondagem		N° 037/2013		
									Furo SP 02	Cota 0,600	30 cm finais	30 cm iniciais	
									SPT - Standard Penetration Test		Camada - Classificação dos solos		
									Método Argolas com Estrang.				
6,0	Tubo Helicoidal	4,4	-4,4		0	0	1	0,30	Resíduos de Carvão tipo arenoso, cor cinza, consistência medianamente compacto				
					15	16	2						
					13	14	3						
					14	16	4						
					13	14	5						
					15	16	6						
					6	7	7						
					5	7	8						
					7	8	9						
					2	2	10						
					2	2	11						
					2	3	12						
					2	3	13						
					2	2	14						
					2	2	15						
					2	2	16						
					1	1/30	17						
					2	3	18						
					3	4	19						
					2	3	20						
					2	4	21						
					3	4	22						
					4	4	23						
					3	4	24						
					2	3	25						
					3	4	26						
					3	5	27						
					3	5	28						
					3	5	29						
					3	5	30						
					3	5	31						
					11	13	32						
					11	13	33						
					11	13	34						
					11	13	35						
					23	27	36						
							37						
							38						
Nível d'água		Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução							
N.A. Inicial	4,30 m	29/11/2013	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0 kg	Início	29/11/2013					
N.A. Final	4,30 m	03/11/2013	Ø externo	2 "	Altura de queda	75,0 cm	término	02/12/2013					
Obs: o furo foi até 39,60m													
Digitadora	0		Eng°	Eduardo Francisco Dandolini			28/11/2013	Folha	1				

GEOTEC**SONDAGENS
ENSAIOS GEOTÉCNICOS**

Imbituba, 17 de Junho de 2014.

CLIENTE: WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICO S/A**CNPJ:** 07.175.725/0010-50**SERVIÇO:** Rod. 101 KM 330 – Bairro Revorodo - Tubarão /SC**ASSUNTO:** Sondagens para simples reconhecimento.**RELATÓRIO****1. INTRODUÇÃO**

Em cumprimento aos termos de nosso contrato, estamos apresentando o relatório referente aos serviços geotécnicos realizados para a obra em apreço.

2. SERVIÇOS EXECUTADOS

Foram executados 02(dois) furo de sondagem, sendo os furos de sondagem Mista totalizando 95,60m de perfuração.

3. SONDAGEM À PERCUSSÃO

As perfurações foram executadas por percussão com auxílio de circulação de água e protegidas por um revestimento de 76,2 mm (3") de diâmetro nominal.

A extração das amostras foi feita com a cravação de amostrador padrão de 34,9 mm (1 3/8") e 50,8 mm (2") de diâmetro interno e externo, respectivamente.

Anotou-se o número de golpes de um peso de 65 kg, que cai em queda livre de 75 cm de altura, para cravar 45 cm do amostrador descrito acima, nas camadas de solo atravessadas.

O número obtido fornece a indicação da compactidade (caso dos solos de predominância arenosa ou silto-arenosa) ou da consistência (caso dos solos de predominância argilosa ou silto-argilosa) dos solos em estudo.



Para execução da sondagem foram obedecidos os métodos preconizados na NBR 6484/2001

4. SONDAGEM ROTATIVA

As sondagens foram do tipo rotativa, executadas por meio de sonda rotativa usando-se coroas de diâmetros BW.

Nas camadas de rocha foi determinada a recuperação da mesma, ou seja, a relação expressa em porcentagem entre o comprimento da amostra recuperada e a altura da manobra, assim como o número de fragmentos por metro, sendo considerados como fragmentos apenas aqueles compreendidos entre dois prováveis planos de fraturamento natural de rocha, identificados através dos testemunhos.

5. APRESENTAÇÃO DOS SERVIÇOS

A cada furo de sondagem corresponde um perfil individual indicando: recuperação da rocha em porcentagem, com o número de fragmentos por metro, diâmetro das coroas utilizadas na perfuração; profundidade do nível d'água e das diversas camadas encontradas, em relação à superfície do terreno, e finalmente, a classificação das camadas atravessadas.

6. LOCAÇÃO

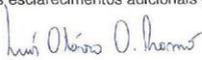
A locação, cotas, nivelamento e coordenadas foram fornecidas pelo cliente.

7. RELAÇÃO DE ANEXOS

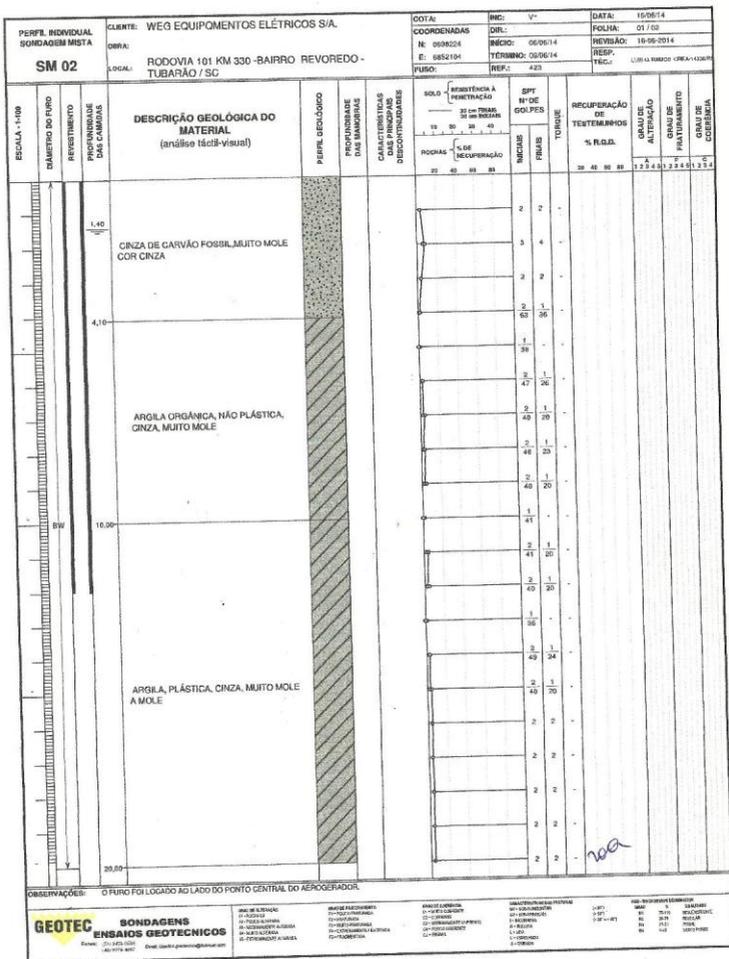
7.1 – PERFIS DE SONDAGEM

- Perfil individual do furo de sondagem Mista;

Estamos às ordens para os esclarecimentos adicionais que forem úteis.



Luís Otávio Oscar Ramos
CREA-143366/RS



PERFIL INDIVIDUAL SONDAGEM MISTA SM 02		CLIENTE: WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A.		COTA:		INC: V*		DATA: 19/06/14											
OBRA:		LOCAL: RODOVIA 101 KM 330-BAIRRO REVOREDO-TUBARÃO / SC		COORDENADAS:		CEN:		FOCAL: 03/103											
				N: 698224		E: 698224		REV: 19-06-2014											
				E: 6982104		TÉRMINO: 09/06/14		RESP. TEC:											
				FUSO:		REF.: 423		LIVRO DE REGISTRO: 0284/14287											
SEÇÃO - 1/40	DIÂMETRO DO FURO	REVESTIMENTO	PROFUNDIDADE DAS CAMADAS	DESCRIÇÃO GEOLÓGICA DO MATERIAL (análise tátil-visual)	PERFIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE DAS CAMADAS	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		SPT N° DE SOLTES	RECUPERAÇÃO DE TESTEMUNHOS % R.O.D.	RECUPERAÇÃO DE TESTEMUNHOS								
							15	30			45	60	75	90	105	120	135	150	
							PODMAS % DE RECUPERAÇÃO		INDICAR										
									PRIMAS										
									TORQUE										
				AREIA MÉDIA ARGILOSA COM PEDREGULHOS VARIADOS, NÃO PLÁSTICA, CINZA		42.00	1%			0%									
				PEDREGULHO DE GRANITO, DURA ALTERADA, MUITO FRATURADA, RUGOSA COM AREIA GROSSA INTERCALADA CINZA		45.60	31%			0%									

100

OBSERVAÇÕES: O FURO FOI LOGADO AO LADO DO PONTO CENTRAL DO AEROGERADOR.

GEOTEC SONDAJENS
ENSAIOS GEOTECNICOS
Fones: (51) 3075.0000 (51) 3075.0001

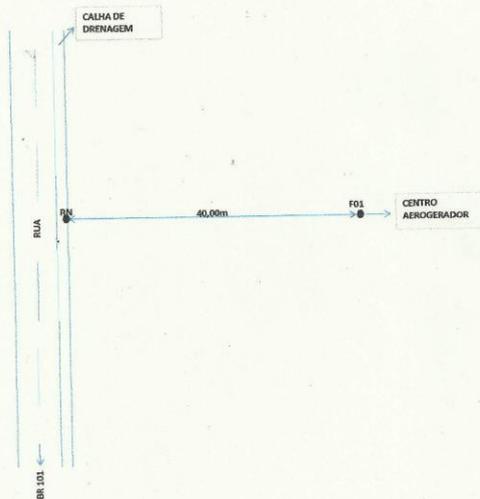
ÁREAS DE ATIVIDADE:
 GEOTECNIA
 GEOTECNIA AMBIENTAL
 GEOTECNIA DE FUNDAMENTAÇÃO
 GEOTECNIA DE OBRAS DE TERRAPLENAGEM
 GEOTECNIA DE OBRAS DE ENGENHARIA CIVIL

SERVIÇOS DE LABORATÓRIO:
 ANÁLISES DE SOLOS
 ANÁLISES DE ARGILAS
 ANÁLISES DE PEDREGULHOS
 ANÁLISES DE MATERIAIS GRANULARES
 ANÁLISES DE MATERIAIS DE ENGENHARIA CIVIL
 ANÁLISES DE MATERIAIS DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

OPORTUNIDADES DE FORMAÇÃO:
 CURSO DE ENGENHARIA DE MINERACÃO
 CURSO DE ENGENHARIA DE METALURGIA
 CURSO DE ENGENHARIA DE FUNDAMENTAÇÃO
 CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
 CURSO DE ENGENHARIA DE OBRAS DE TERRAPLENAGEM
 CURSO DE ENGENHARIA DE OBRAS DE ENGENHARIA CIVIL
 CURSO DE ENGENHARIA DE OBRAS DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

GEOTEC **SONDAGENS**
ENSAIOS GEOTECNICOSFones: (41) 3422-0535 Fax: (41) 3422-0497
E-mail: Geotec@geotec.com.br

RELATÓRIO Nº: 429

CLIENTE: WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A.
LOCAL: Rodovia SC KM 330 - Bairro Raveneado - Tubarão /SC**LOCAÇÃO ESQUEMÁTICA**
(SEM ESCALA)

OBS.: Planta de amarração sem escala e referência, para simples reconhecimento.

10/02

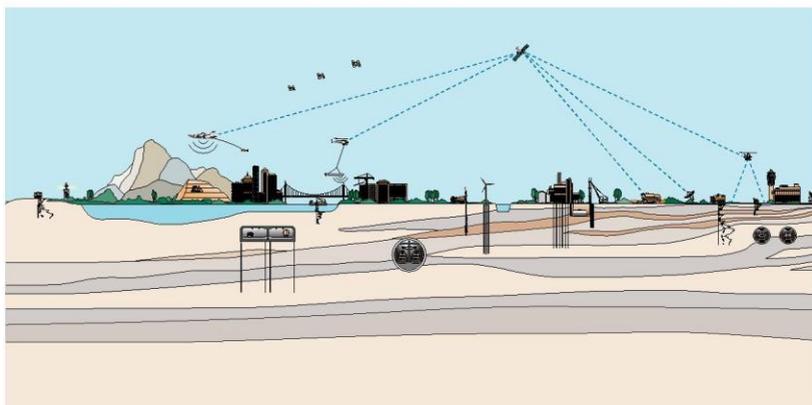
ANEXO B

FUGRO IN SITU GEOTECNIA



OBRA: **PARQUE EÓLICO
TUBARÃO-SC**

RELATÓRIO: **INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA
WEG-01-GRE-01**





FUGRO IN SITU GEOTECNIA LTDA

OBRA: **PARQUE EÓLICO
TUBARÃO-SC**

RELATÓRIO: **INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA
WEG-01-GRE-01**

CLIENTE: **WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A**

1	10/07/2014	REVISÃO DE TEXTO	800007	000591
0	10/07/2014	EMISSÃO INICIAL	800007	000591
REV.	DATA	DESCRIÇÃO	POR	APROV

PR: Rua Apucarana, 895 | Emiliano Permeta | Pinhais-PR | CEP 83324-450 | Fone 41 3345 1424 e 41 3033 9350
SP: Av. Comandante Videlmo Munhoz, 303 | Anhangabaú | Jundiaí-SP | CEP 13208-050 | Fone 11 4596 5921
RJ: Rua Santa Luzia, 651, 32º Andar | Centro | Rio de Janeiro-RJ | CEP 20030-041 | Fone 21 2103 9400
www.fugroinsitu.com.br

**ÍNDICE**

1.	INTRODUÇÃO	4
2.	DOCUMENTOS RECEBIDOS	5
3.	ENSAIO DILATOMÉTRICO DE MARCHETTI - DMT	6
3.1.	Normas Aplicáveis	6
3.2.	Procedimentos Ensaio Dilatométricos - DMT	6
3.3.	Locação, quantidade e profundidade dos ensaios	7
3.4.	Resultados Ensaio Dilatométricos - DMT	7
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	9

ANEXO I – ENSAIO DILATOMÉTRICO



1. INTRODUÇÃO

O presente relatório tem por objetivo descrever a campanha de Investigação Geotécnica, com a execução de ensaio dilatométrico – DMT, executado a serviço da WEG Equipamentos Elétricos S.A., na Usina Eólica, em Tubarão/SC.

O serviço de campo foi realizado nos dias 03/07/2014 e 04/07/2014.

A presente campanha de Investigação Geotécnica compreendeu:

- Vinte e dois (22) ensaios DMT.



2. DOCUMENTOS RECEBIDOS

- Relatório de sondagem a percussão do furo SPT01.

Não foram fornecidas cotas e coordenadas de execução.



3. ENSAIO DILATOMÉTRICO DE MARCHETTI - DMT

3.1. Normas Aplicáveis

- ASTM D-6635-01 *Standard test method for performing the flat plate dilatometer.*

3.2. Procedimentos Ensaio Dilatométricos - DMT

O ensaio consiste na cravação da lâmina dilatométrica no terreno, através de um penetrômetro, e em seguida na medição da pressão de gás necessária para expandir uma membrana situada no centro desta lâmina no interior da massa de solo.

A cravação do dilatômetro é feita com velocidade constante de cerca de 2 cm/s e interrompida nas cotas em que se deseja realizar o ensaio. Imediatamente após a interrupção, procede-se à expansão da membrana, momento em que são medidas as pressões denominadas A e B.

A pressão denominada A é a pressão de gás necessária para causar um deslocamento horizontal no centro da membrana de 0,05 mm. A pressão B é a pressão que causa um deslocamento da membrana de 1,10 mm.

Devido à rigidez da membrana de aço, e eventual imprecisão do sistema de medição, é necessário corrigir as pressões A e B, originando-se as pressões corrigidas P_0 e P_1 . As correções são efetuadas através das expressões abaixo:

$$P_0 = 1,05 (A - Z_m + \Delta A) - 0,05(B - Z_m - \Delta B)$$

$$P_1 = B - Z_m - \Delta B$$

onde:

Z_m = Desvio do zero do manômetro (não observado nos ensaios realizados);

ΔA = Pressão de gás correspondente à leitura A, em calibração ao ar (correção da rigidez da membrana);

ΔB = Pressão de gás correspondente à leitura B, em calibração ao ar (correção da rigidez da membrana).



3.3. Locação, quantidade e profundidade dos ensaios

Foi executada uma (01) vertical de ensaios DMT totalizando vinte e dois (22) ensaios. A profundidade máxima alcançada e quantidade de ensaios executados em cada vertical são apresentadas na Tabela 3.1..

Tabela 3.1. – Quantitativos ensaios DMT.

Furo	Profundidade Final (m)	Quant. Ensaios DMT
DMT-01	40,00	22

3.4. Resultados Ensaios Dilatométricos - DMT

O ensaio dilatométrico de Marchetti fornece como resultado três índices, baseados nas equações de Marchetti. Esses índices são calculados a partir das pressões corrigidas P_0 e P_1 .

A tabela abaixo resume os índices fornecidos pelo ensaio e a forma como são empiricamente calculados.

Símbolo	Descrição	Equações de Marchetti para processamento de DMT	
p_0	Primeira Leitura Corrigida	$p_0 = 1.05 (A - Z_M + \Delta A) - 0.05 (B - Z_M - \Delta B)$	Z_M = Leitura do manômetro quando aberto para a atmosfera. Se ΔA , ΔB são medidos com o mesmo manômetro usado para as leituras A e B, $Z_M = 0$
p_1	Segunda Leitura Corrigida	$p_1 = B - Z_M - \Delta B$	
I_D	Índice de Material	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$	u_0 = pressão neutra
K_D	Índice de Tensão Horizontal	$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$	σ'_{v0} = tensão vertical efetiva
E_D	Módulo Dilatométrico	$E_D = 34.7 (p_1 - p_0)$	E_D NÃO é o módulo de Young E. E_D deve ser usado somente combinado com K_D (História de Tensões).



A pressão vertical efetiva foi calculada como o produto do peso específico total do solo pela profundidade de ensaio, subtraído da pressão hidrostática. O peso específico total do solo adotado foi estimado a partir do gráfico abaixo (Marchetti e Crapps 1981) que sugere empiricamente o peso específico γ do solo (normalizado em relação ao $\gamma_w =$ peso específico da água) com base nos índices I_D e E_D que o ensaio DMT fornece.

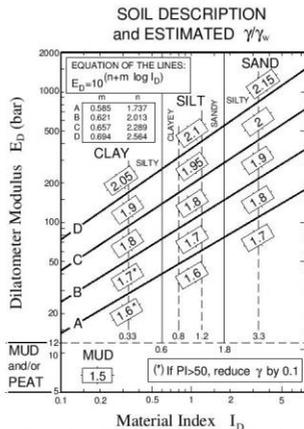


Figura 1 - Gráfico para a determinação do tipo de terreno e do peso específico do solo γ (Marchetti e Crapps, 1981)

Os resultados dos ensaios realizados encontram-se no Anexo I.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todos os ensaios têm como objetivo informações geotécnicas pontuais.

A Fugro In Situ Geotecnia Ltda coloca-se à disposição para prestar todos os esclarecimentos adicionais que se fizerem necessários.

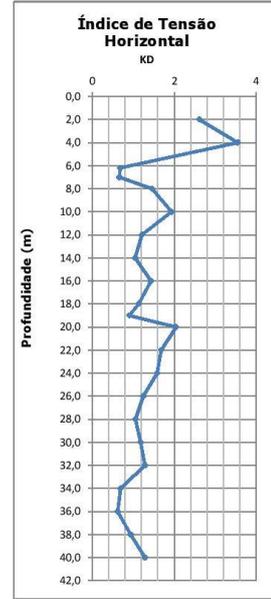
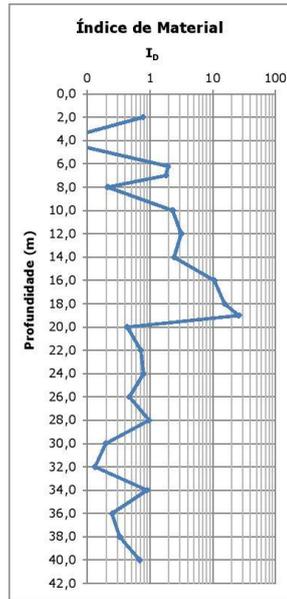
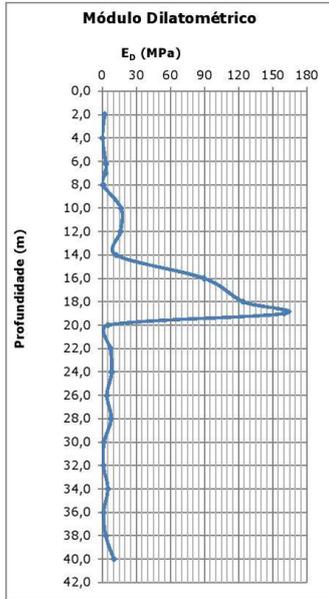


ANEXO I
ENSAIO DILATOMÉTRICO

WEG-01-GRE-01
Anexos

Dados Gerais											
Cód. Obra: WEG-01				A A (bar): 0,2							
Data de ensaio: 07/07/2014				A B (bar): 0,45							
Ident.: DMT-01				N.A. (m): 3,00							
Profundidade (m)	Pressões medidas (bar)			Pressões Corrigidas (kPa)			Pressão hidrostática u_0 (kPa)	Peso esp. kN/m^3	Índices Dilatométricos		
	A	B	C	P_0	P_1	P_2			E_0 (MPa)	I_b	K_0
2,0	0,7	1,9	0,5	82	145	70	0	15,70	2,2	0,77	2,6
4,0	1,5	2,2	0,1	170	175	25	10	13,73	0,2	0,03	3,5
6,2	0,7	2,2	0,2	81	175	35	31	16,68	3,3	1,92	0,7
7,0	0,7	2,2	0,2	86	170	43	39	15,70	2,9	1,80	0,7
8,0	1,3	2,2	0,3	149	170	50	49	14,72	0,7	0,21	1,5
10,0	2,8	8,0	0,6	277	755	75	69	17,66	16,6	2,29	1,9
12,0	2,4	7,5	0,7	238	705	90	88	17,66	16,2	3,13	1,2
14,0	2,5	6,5	0,8	253	605	95	108	17,66	12,2	2,42	1,0
16,0	4,8	30,0	2,2	372	2955	240	128	18,64	89,6	10,57	1,4
18,0	5,3	40,0	1,7	380	3955	190	147	19,62	124,1	15,37	1,1
19,0	5,4	50,0	1,7	335	4955	190	157	18,64	160,3	25,95	0,9
20,0	5,0	7,0	3,9	508	655	410	167	16,68	5,1	0,43	2,0
22,0	4,8	7,5	2,9	490	705	305	186	16,68	7,5	0,71	1,7
24,0	5,1	8,0	3,1	514	755	330	206	16,68	8,4	0,79	1,6
26,0	4,7	6,5	3,3	484	605	350	226	16,68	4,2	0,47	1,2
28,0	4,7	7,5	3,0	479	705	320	245	16,68	7,8	0,96	1,1
30,0	4,9	6,0	4,0	508	555	420	265	15,70	1,6	0,19	1,2
32,0	5,1	6,0	4,0	524	555	420	284	14,72	1,1	0,13	1,3
34,0	4,5	6,5	4,8	463	605	500	304	15,70	4,9	0,89	0,7
36,0	4,6	5,6	4,0	473	510	415	324	15,70	1,3	0,25	0,6
38,0	6,0	7,5	6,0	616	705	620	343	16,68	3,1	0,33	0,9
40,0	8,0	11,5	5,2	806	1105	540	363	17,66	10,4	0,68	1,3

ENSAIO DILATÔMETRO DE MARCHETTI - DMT



CLIENTE	WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS
OBRA	USINA EÓLICA TUBARÃO-SC
LOCAL	TUBARÃO-SC
DATA	07/07/2014
IDENT	DMT-01
OBRA	WEG-01

UTM COORDENADAS	N: NÃO FORNECIDA
	E: NÃO FORNECIDA
Cota (m):	NÃO FORNECIDA
Prof. Final (m)	40,00
N.A. (m):	3,00



ANEXO C

**PROJETO GEOTÉCNICO DAS
PLATAFORMAS DAS TORRES EÓLICAS 1 E 2 E DAS VIAS DE ACESSO
EM UMA ÁREA DA TERMOELÉTRICA JORGE LACERDA,
EM CAPIVARI DE BAIXO**

1 – INTRODUÇÃO

O presente projeto geotécnico refere-se aos aterros das bases de duas plataformas e as vias de acesso às mesmas, para a instalação de duas torres eólicas em duas antigas áreas de deposição de cinza pesada, no município de Capivari de Baixo, no sul do estado de Santa Catarina. As bacias são denominadas de Bacia 2 e Bacia 3. Na Bacia 2 está projetada a Torre 1 e na Bacia 3 está prevista a construção da Torre 2. A área da torre 1 já está devidamente aterrada com cinza pesada e com uma camada de argila na superfície, sobre a cinza. A cota dessa área é de 7,5. A área da torre 2 está numa cota bem inferior (4,56), deve atingir a cota 7,5 e ainda falta completar o aterro com cinza pesada, devidamente compactada. As duas áreas estão localizadas na margem direita da BR 101, frontalmente à Usina Termoelétrica Jorge Lacerda.

2 - ESTRATIGRAFIA DO SUBSOLO DAS PLATAFORMAS

Várias sondagens à percussão foram realizadas nas áreas citadas acima. Para a Torre 1, localizada na bacia 2, foi selecionada a sondagem SP-2. Para a Torre 2, localizada na bacia 3, foi selecionada a sondagens SP-8, por estar na área prevista para ser construída essa plataforma. O critério para a seleção das sondagens dependeu simplesmente das suas localizações, por serem mais próximas das respectivas plataformas.

As estratigrafias das duas plataformas podem ser vistas nas Figuras 1 e 2. A plataforma da Torre 1 (Figura 1) é formada por uma camada de cinza pesada com espessura da ordem de 6m. Subjacente a essa camada ocorre uma camada de argila com matéria orgânica muito mole, cuja espessura varia entre 2 e 4m. Logo abaixo dessa existe uma

camada de areia fina a média, com matéria orgânica, fofa e cuja espessura encontra-se na faixa entre 3,5 a 6,5m e abaixo dessa ocorre uma camada de argila cinza muito mole. O nível do lençol freático encontra-se a 3,2m abaixo do nível do terreno "natural" (topo da camada de cinza pesada). Observa-se, portanto, ser uma estratigrafia pouco favorável do ponto de vista de resistência.

A plataforma da Torre 2 (Figura 2) encontra-se na cota 4,56 e deve atingir a cota 7,5. O aterro deve ser com cinza pesada e devidamente compactada em camadas com espessura máxima de 40cm. Abaixo da cota 4,56 existe uma camada de cinza com espessura próxima de 1,5m. Logo abaixo ocorre uma camada de areia média a grossa, marrom, variegada, argilosa, fofa e abaixo dessa uma camada de argila cinza claro, pouco arenosa, muito mole a mole. Essa mesma argila, apenas que no estado de consistência rija existe logo abaixo. O nível do lençol freático encontra-se a 2,8m abaixo do nível da futura plataforma (cota 7,5).

3 - PROJETO GEOTÉCNICO DAS PLATAFORMAS

Por exigência do proprietário do empreendimento, a plataforma da torre 1, na bacia 2, deverá estar na cota 7,5 e da torre 2, na bacia 3, também, na cota 7,5.

Mesmo na bacia 2 (torre 1), onde o aterro já está construído, a cinza não foi devidamente compactada e deverá ser removida (3,0m de espessura) e parte da mesma (aproximadamente 1,0m no fundo da cava) deverá ser compactada na energia equivalente ao do ensaio do Proctor Normal, em camadas de no máximo 40,0cm (no estado fofo). Sobre essa camada deverá ser construída uma camada de saibro compactado (espessura das camadas de, no máximo, 30,0cm, no estado fofo), também, na energia do Proctor Normal, até atingir 1,7m de espessura. Os últimos 0,3m faltantes deverão ser construídos com brita graduada.

Os parâmetros de resistência das camadas que compõem o perfil estratigráfico representado na Figura 1 estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros, físico e mecânico, dos solos que compõem o perfil estratigráfico correspondente à Figura 1.

Tipo de solo	Peso específico natural (γ_{sat}) (kN/m ³)	Intercepto coesivo (C) (kPa)	Ângulo de atrito interno (ϕ) (°)
Brita bem graduada (0,3m)	21,0	0	45,0
Aterro compactado com saibro (1,7m)	20,0	3,0	37,0
Cinza pesada compactada (1,0m)	14,0	0	30,0
Cinza pesada, no estado fofo (1,5m)	13,0	0	26,0
Argila com matéria orgânica, muito mole	13,5	14,0	0
Areia fina a média, com matéria orgânica, fofa	16,0	0	26,0
Argila cinza, muito mole a mole	14,0	22,0	0

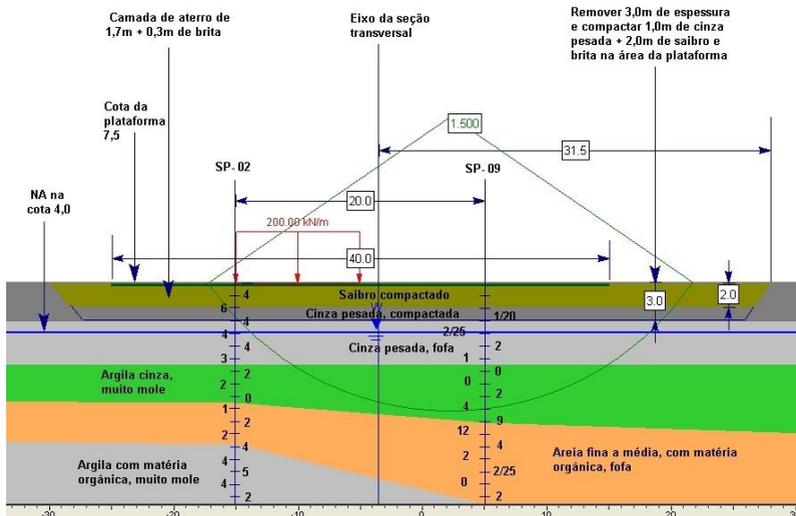


Figura 1 - Seção transversal do solo na Torre 1, na Bacia 2. A camada de aterro de 1,7m deverá ser construída com areia ou solo bem arenoso (saibro), compactado.

Os parâmetros de resistência das camadas que compõem o perfil estratigráfico representado na Figura 2 estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros, físico e mecânico, dos solos que compõem o perfil estratigráfico correspondente à Figura 2.

Tipo de solo	Peso específico natural (γ_{sat}) (kN/m ³)	Intercepto coesivo (C) (kPa)	Ângulo de atrito interno (ϕ) (°)
Brita bem graduada (0,3m)	21,0	0	45,0
Aterro compactado com saibro (1,7m)	20,0	3,0	37,0
Cinza pesada, no estado fofo (1,5m)	13,0	0	26,0
Areia média a grossa, argilosa, fofa	16,5	0	29,0
Argila cinza, pouco arenosa, muito mole	13,7	14,0	0
Argila cinza, pouco arenosa, rija	14,7	30,	0

Sobre a camada de aterro (solo arenoso ou saibro), com espessura de 1,7m, deverá ser construída uma camada de brita, com espessura de 0,3m para servir de base para a atuação do guindaste na operação de içamento de peças para a montagem das torres.

A camada de brita poderá ser construída numa área menor, por exemplo, nas dimensões de projeto das plataformas, ou seja, 40m x 30m (Figuras 1 e 2). Essa área deverá ter seu centro coincidente com o centro geométrico da área da plataforma, onde o guindaste deverá se deslocar para erguer cargas.

Caso a área de atuação do guindaste possa ser reduzida, então a área de brita poderá ser reduzida, também (ver **4 - RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS**). O guindaste nunca deverá atuar próximo da borda da brita. Manter, pelo menos, 5m de distância da mesma.

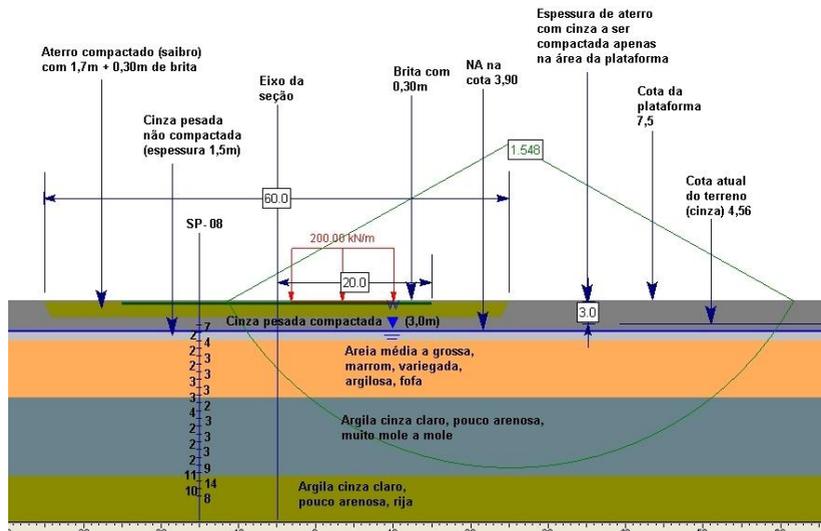


Figura 2 - Seção transversal do solo na Torre 2, na Bacia 3. A camada de aterro de 1,7m deverá ser construída com areia ou solo bem arenoso (saibro), compactado.

4 - VIAS DE ACESSO ÀS PLATAFORMAS

Para a via de acesso às duas plataformas, será suficiente construir uma camada de brita de, pelo menos, 0,15m de espessura sobre a camada de cinza pesada. O fator de segurança é mais do que adequado para garantir a estabilidade do aterro.

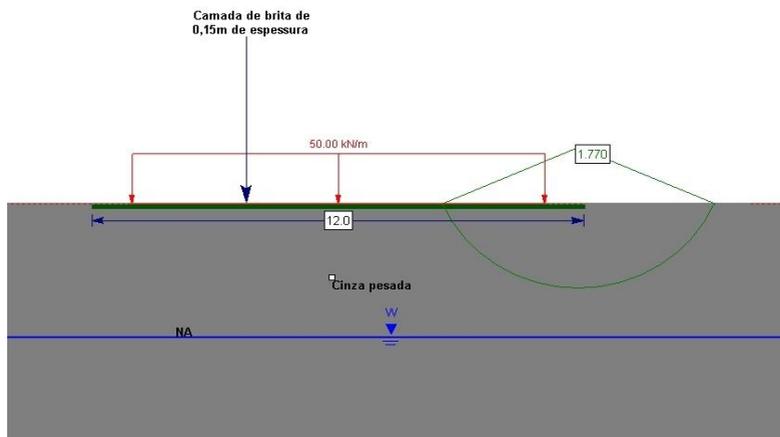


Figura 3 - Seção transversal da via de acesso às plataformas, com brita de espessura de 0,15m.

Recomenda-se, no entanto, passar o rolo compactador, algumas vezes no topo da camada de cinza pesada até garantir uma boa compactação, antes da colocação da brita. Posteriormente a isso, poderá ser construída a camada de brita.

4 - RECOMENDAÇÕES CONSTRUTIVAS

Na plataforma da torre 1, na bacia 2, deverá ser removida uma espessura de cinza de, pelo menos, 3,0m. No fundo da cava, caso seja possível, passar um rolo compactador, do tipo pé de carneiro (preferencialmente com pés compridos, de cerca de 18cm) antes de compactar a primeira camada de cinza (0,3 a 0,4m de espessura, no estado fofo). Caso o operador perceber que não é possível ou perigoso passar o rolo (mesmo sem vibração), por questões de falta de capacidade do material de fundação, então a primeira camada poderá ser lançada e compactada, mesmo sem essa pré-compactação. Na pré-compactação e às vezes na primeira camada, a utilização de vibração também pode trazer problemas de estabilidade. Nesse caso, não utilizar a vibração. Na segunda camada já poderá ser utilizado o rolo com a vibração ativada.

Para a plataforma da torre 2, na bacia 3, a cota do fundo da cava é de 4,56 e a cota da plataforma deverá ser de 7,5 (diferença = 2,94m). Recomenda-se nivelar a área e compactar a camada com rolo pé de carneiro, com pés grandes. À partir daí, poderá ser adotado o mesmo procedimento recomendado acima, para a torre1.

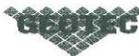
Para as vias de acesso, recomenda-se compactar com rolo pé de carneiro de pés grandes, antes da colocação da camada de brita.

Os caminhões que transportam as cargas devem trafegar mantendo uma distância mínima de 1m da borda da brita graduada, para os dois lados da via de acesso. A base de cinza, sob a brita, deverá se estender de uma distância de cerca de 1m a mais que a brita, para os dois lados da via de acesso.

Florianópolis, 28 de janeiro de 2014

M. Maccarini, eng. civil
consultor geotécnico

ANEXO D



**SONDAGENS
ENSAIOS GEOTÉCNICOS**

Imbituba, 26 de Setembro de 2013.

CLIENTE: WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A

SERVIÇO: BR 101 –KM 330 –Revoledo - Tubarão / SC

ASSUNTO: Realização de ensaios de Compactação, CBR, Limites Plástica e Liquidez, Granulometria por peneiramento, Para fins de terraplanagem e dimensionamentos.

RELATÓRIO

1. INTRODUÇÃO

Em cumprimento aos termos de nossa proposta nº 201, estamos apresentando o relatório referente aos serviços geotécnicos realizados para a obra em apreço.

2. SERVIÇOS EXECUTADOS

Foram executados 02(dois) ensaios de Compactação, CBR, Limites , Plasticidade e Liquidez, Granulometria por peneiramento, sendo cada amostra definida como AMOSTRA 01 (aterro saibro) e AMOSTRA 02 (Cinza grossa de Carvão Fóssil). As amostras foram recolhidas no canteiro de obra , por indicação do Cliente.

Análise granulométrica

A análise granulométrica do solo é realizada por peneiramento. O processo de peneiramento consiste em passar uma determinada quantidade de solo , de peso conhecido, por um conjunto de peneiras com malhas de aberturas padronizadas. A abertura nominal da peneira é considerada como diâmetro das partículas. Trata-se, evidentemente de um diâmetro equivalente, pois normalmente as partículas não são esféricas.

O peso do material que passa em cada peneira, referido ao peso seco da amostra, é considerado com a "porcentagem que passa", e representado graficamente em função da abertura da peneira, esta em escala logarítmica.

Limite de Liquidez

O limite de Liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura nele feita requer 25 golpes para se fechar, num aparelho



SONDAGENS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

denominado Aparelho de Casagrande. Diversas tentativas são realizadas, com o solo em diferentes umidades, anotando-se o número de golpes para fechar a ranhura, obtendo-se o Limite de Liquidez pela interpolação dos resultados.

O procedimento de ensaio para determinação do limite de liquidez dos solos é descrito pela ABNT através da norma NBR 6459(84): Solo – Determinação do limite de liquidez, devendo-se consultar também a norma NBR 6457(86): Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio.

Limite de Plasticidade

O Limite de Plasticidade é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão.

O procedimento de ensaio é padronizado pela ABNT através da norma NBR 7180(84): Solo – Determinação do limite de plasticidade.

Considerar satisfatórios os valores de umidade obtidos quando, de pelo menos três, nenhum deles diferir da respectiva média de mais de 5% dessa média.

O resultado final, média de pelo menos três valores de umidade considerados satisfatórios, deve ser expresso em percentual, arredondado para o número inteiro mais próximo.

Na impossibilidade de se obter o cilindro com 3 mm de diâmetro, considerar a amostra como não apresentando limite de plasticidade (NP).

Proctor

Para determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados, realiza-se um estudo das variações do peso específico seco, em função do teor de umidade, quando esse é submetido a um determinado esforço de compactação.

Os procedimentos para o ensaio foram normalizados pela ABNT através da NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação, devendo-se consultar também as normas NBR 5734: Peneiras para ensaio – Especificação, NBR 6457(86): Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio, NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica aparente e da absorção de água – Método de ensaio e NBR 6408: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica – Método de ensaio.

Pode-se realizar o ensaio de compactação, com reuso de material, sobre amostras preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica

Ensaio de Suporte Californiano:

O seu procedimento é normalizado pela ABNT, através da NBR-9895, sendo necessária, para a sua utilização, a consulta das normas NBR-5734 (Peneiras para ensaio – Especificação), NBR-6457 (Amostras de Solo – Preparação para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio).

Para a execução do ensaio procede-se segundo o roteiro abaixo.



**SONDAGENS
ENSAIOS GEOTECNICOS**

- a) Fixar o molde cilíndrico à sua base e colocar o disco espaçador. O conjunto tem as mesmas do cilindro grande utilizado no ensaio de Proctor, com a diferença que a base utilizada nesse ensaio é perfurada. Se necessário, colocar uma folha de papel filtro d mesmo diâmetro do molde sobre o disco espaçador, para evitar a aderência do solo com esse.
- b) Tomar a amostra preparada de acordo com o primeiro passo, adicionar, gradativamente, água destilada e revolver o material de forma a obter uma homogênea mistura na umidade ótima presumida.
- c) Com o soquete grande, proceder à compactação, em cinco camadas. O número de golpes por camada dependerá da energia de compactação escolhida. Os golpes do soquete devem ser aplicados perpendicularmente ao solo e distribuídos por toda a área do cilindro. As alturas de cada uma das 5 camadas devem ser semelhantes. Antes da colocação de uma camada de solo deve-se escarificar a superfície da anterior.
- d) Após a compactação da Segunda camada, retirar uma porção de amostra remanescente da bandeja onde foi homogeneizado o solo, para a determinação do teor de umidade, de acordo com a NBR-6457.
- e) Quando terminada a compactação da última camada escarificar o material o material em contato com o cilindro complementar, com auxílio de uma espátula, e retirá-lo. Deve haver um excesso de no máximo 10 mm de solo compactado acima do molde que deve ser removido e rasado com auxílio de uma régua biselada.
- f) Remover o molde cilíndrico de sua base e pesar o conjunto. Subtrair o peso do molde cilíndrico, obtendo o peso úmido do solo compactado, W .
- g) Retirar o disco espaçador de cada corpo de prova, inverter os moldes e fixá-los nos respectivos pratos-base perfurados.
- h) No espaço deixado pelo disco espaçador colocar, em cada corpo de prova, o prato perfurado com a haste de expansão. Colocar sob o prato dois discos anelares, com diâmetro externo de 149 mm e interno de 54 mm, cuja massa total deve ser de 4540 +/- 20g.
- i) Na haste de expansão do prato perfurado, apoiar a haste do extensômetro acoplado ao porta-extensômetro colocado na parte superior do cilindro. Anotar a leitura inicial e imergir o corpo de prova em um tanque com água, com capacidade tal que permita a imersão total do corpo de prova.
- j) Fazer leituras de 24 em 24 horas no extensômetro, sendo que o corpo de prova deve ficar imerso no tanque no mínimo por quatro dia.
- k) Após a última leitura, retirar cada corpo de prova da imersão e deixar a água escoar por 15 minutos. Dessa forma o corpo de prova estará pronto para a fase de penetração.

WCA



**SONDAGENS
ENSAIOS GEOTECNICOS**

l) A penetração deve ser feita em uma prensa conforme especificada pela Norma NBR-9895.

m) Colocar no topo de cada corpo de prova, dentro do molde cilíndrico, as mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão, item 10^o.

n) Colocar esse conjunto no prato da prensa e proceder ao assentamento do pistão de penetração no solo, pela aplicação de uma carga de aproximadamente 45 N controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico. Zerar o extensômetro do anel e o que mede a penetração do pistão no solo. Acionar a manivela da prensa com a velocidade de 1,27mm/min. Cada leitura considerada no extensômetro do anel é função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio. Essas medidas podem ser anotadas na planilha de ensaio CBR.

o) As leituras efetuadas no extensômetro do anel medem encurtamentos diametrais, provenientes da atuação das cargas. No gráfico de atenuação do anel tem-se a correspondência entre as leituras efetuadas no extensômetro do anel e as cargas atuantes.

Os discos anelares colocados sobre a amostra, antes da imersão desta, têm por função simular a resistência que o peso do pavimento impõe a sua expansão. A amostra permanece 4 dias imersa em água para que ocorra a sua saturação, possibilitando a medida da expansão do solo quando saturado.

Par calcular os pesos específicos secos relacionados com os teores de umidade, utiliza-se o mesmo procedimento do ensaio de compactação de Proctor, plotando-se os resultados em um gráfico peso específico seco, ou seja, o solo que apresenta no ensaio californiano um CBR = 70 é considerado um solo de máxima resistência.

4. LOCAÇÃO

A locação dos ensaios foi feita pelo cliente.

5. RELAÇÃO DE ANEXOS

5.1 - Planilhas de ensaio com os resultados.

Estamos às ordens para os esclarecimentos adicionais que forem úteis.

NSA

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

DADOS DO ENSAIO

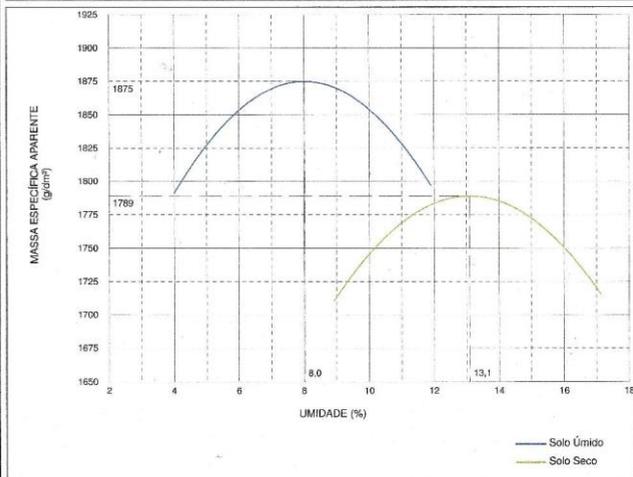
Molde n°..... : 1
 Volume..... : 1,066 dm³
 Peso..... : 2051 g
 Peso da Amostra. : 3000 g

RESULTADOS

Massa Esp. Aparente Máx. do Solo Seco. : 1789 g/dm³
 Umidade Ótima..... : 13,1%
 Esforço de Compactação: NORMAL

ENSAIO

Amostra compacta e molde(g)	Amostra compacta (g)	Massa esp. apt. Umida (g/dm ³)	Determinação da Umidade						Massa esp. apt. seca (g/dm ³)	
			Cápsula n°	Cápsula s.úmido(g)	Cápsula s.seco(g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco(g)		Toror Umid.(g)
4039	1988	1865	4	102,25	95,22	16,54	7,03	78,68	8,93	1712
4137	2086	1957	15	104,84	95,15	16,55	8,69	79,60	10,92	1764
4219	2168	2034	21	103,66	93,90	21,07	9,76	72,83	13,40	1793
4220	2169	2035	25	101,78	91,00	19,85	10,78	71,15	15,15	1767
4193	2142	2009	29	109,00	95,96	20,09	13,02	75,89	17,16	1715



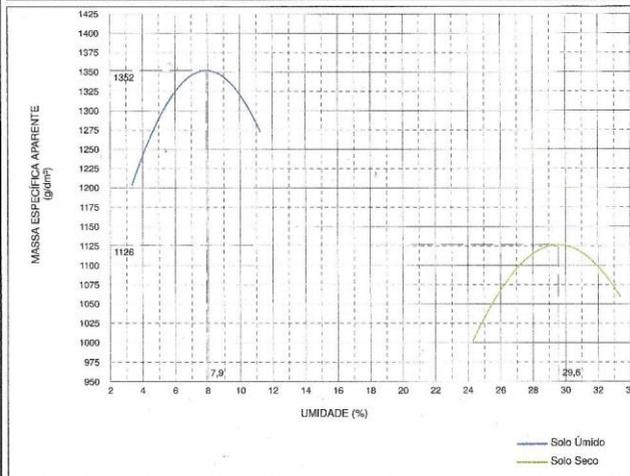
CLIENTE : WEG - EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A
 LOCAL : BR101 - KM 330 - TUBARÃO/SC
 AMOSTRA : 01
 REGISTRO : 03/2013
 OPERADOR : MANOEL P. COSTA

DATA: 26/09/2013

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

DADOS DO ENSAIO	RESULTADOS
Molde n°..... : 5	Massa Esp. Aparente Máx. do Solo Seco. : 1126 g/dm ³
Volum. : 0,995 dm ³	Umidade Ótima..... : 29,6%
Peso..... : 2305 g	Esforo de Compactação: NORMAL
Peso da Amostra. : 3000 g	

ENSAIO										
Amostra compacta e molde(g)	Amostra compacta (g)	Massa esp. apt. úmida (g/dm ³)	Determinação da Umidade							Massa esp. apt. seca (g/dm ³)
			Cápsula n°	Cápsula s. úmido(g)	Cápsula s. seco(g)	Cápsula (g)	Água (g)	Solo Seco(g)	Teor Umid.(g)	
3549	1244	1250	50	112,55	93,73	16,22	18,82	77,51	24,28	1006
3652	1347	1354	189	119,40	99,01	21,97	20,39	77,04	26,47	1070
3765	1460	1467	155	123,51	100,82	22,46	22,69	78,36	28,96	1138
3755	1450	1457	122	139,21	111,48	21,74	27,73	89,74	30,90	1113
3710	1405	1412	33	126,55	102,21	23,34	26,34	78,67	33,40	1059



CLIENTE : WEG - EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A
 LOCAL : BR101 - KM 330 - TUBARÃO/SC
 AMOSTRA : 02
 REGISTRO : 04/2013
 OPERADOR : MANOEL P. COSTA

hocr

DATA: 26/09/2013

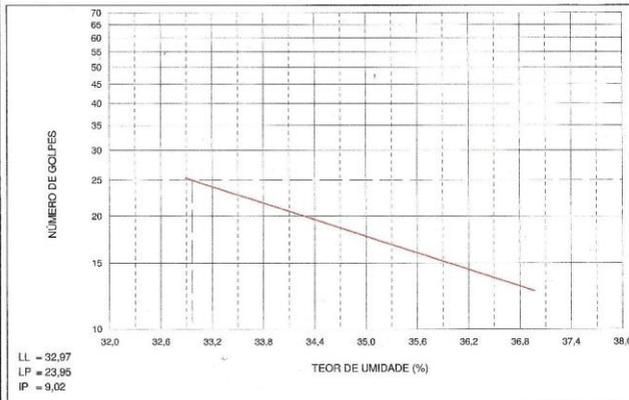
ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

ENERGIA DE PROCTOR: NORMAL					
DADOS DE ENSAIO			ENSAIO DE COMPACTAÇÃO		RESULTADOS
Molde n°..... : 15			Dens. Máxima..... : 1789 g/dm ³	DAS..... : 1778 g/dm ³	
Ponto n°..... : 1			H. ótima..... : 13,1%	ISC..... : 17%	
			Altura..... : 11,76 cm	Expansão..... : 0,04%	
EXPANSÃO					
Data	Hora	Leit.	Difer.	Expansão	
		0,05		0,04	
UMIDADE HIGROSCÓPICA					
Cápsula	7				
Solo Úmido + Cápsula(g)	101,25				
Solo Seco + Cápsula(g)	101,03				
Água(g)	0,22				
Cápsula(g)	18,00				
Solo Seco(g)	83,03				
Teor Umidade(%)	0,26				
Umidade Média (%)	0,26				
MOLDAGEM					
Amostra Seca(g)	4986,79				
Amostra Umidade OT(g)	5940,06				
Amostra Umidade MD ² (g)	5000				
Amostra Umid. Higros.(g)	5000				
Água Teórica (ml)	401,13				
Evaporação (ml)	7,48				
Água (h. ótima) (ml)	640,06				
Água Total (ml)	647,53				
DENSIDADE APARENTE SECA					
Volume Molde (dm ³)	2,088				
Molde Solo Água(g)	8301				
Molde(g)	4096				
Solo Água(g)	4205				
Densidade Solo Úmido (g/dm ³)	2014				
Densidade Solo Seco (g/dm ³)	1778				
UMIDADE DE MOLDAGEM					
Cápsula	42				
Solo Úmido + Cápsula(g)	115,96				
Solo Seco + Cápsula(g)	104,52				
Água(g)	11,44				
Cápsula(g)	18,18				
Solo Seco(g)	86,34				
Teor Umidade(%)	13,25				
Umidade Média (%)	13,25				
PENETRAÇÃO					
Tempo (min.)	Penet. (mm)	Leitura Deflec. M.	Pressão		I.S.C. (%)
			Calculada	Corrigida	
0,5	0,63	13	1,32		
1,0	1,27	45	4,57		
1,5	1,90	61	5,20		
2,0	2,54	92	9,35	9,38	17
3,0	3,81	135	13,72		
4,0	5,08	160	16,26	15,67	17
6,0	7,62	190	19,30		
8,0	10,16	210	21,34		
10,0	12,70	225	22,86		
Correção = 0,29					
DENSIDADE APARENTE SECA					
Volume Molde (dm ³)	2,088				
Molde Solo Água(g)	8301				
Molde(g)	4096				
Solo Água(g)	4205				
Densidade Solo Úmido (g/dm ³)	2014				
Densidade Solo Seco (g/dm ³)	1778				
UMIDADE DE MOLDAGEM					
Cápsula	42				
Solo Úmido + Cápsula(g)	115,96				
Solo Seco + Cápsula(g)	104,52				
Água(g)	11,44				
Cápsula(g)	18,18				
Solo Seco(g)	86,34				
Teor Umidade(%)	13,25				
Umidade Média (%)	13,25				
CLIENTE : WEB - EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A LOCAL : BR101 - KM 330 - TUBARÃO/SC AMOSTRA : 01 REGISTRO : 03/2013 OPERADOR : MANOEL P. COSTA					
DATA: 26/09/2013					

ENSAIOS FÍSICOS ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

UMIDADE HIGROSCÓPICA		PENEIRAÇÃO DA AMOSTRA			
Cápsula	4	N° Pen.	Peso da Amostra Seca(g)		% que passa da amostra total
Solo Umido + Cápsula(g)	350,00		Retido	Passado	
Solo Seco + Cápsula(g)	350,00	2"			
Água(g)		1 1/2"			
Cápsula(g)	16,54	1"			
Solo Seco(g)	333,46	3/4"			
Teor Umidade(%)		1/2"			
Umidade Média		3/8"			
		4	0,30	349,70	99,91
		8			
		10	51,15	298,85	85,39
		20	20,75	79,25	23,07
		40	38,24	61,76	18,25
		60	46,44	53,56	15,57
		100			
		200	65,77	34,23	10,00

	LIMITE DE LIQUIDEZ			LIMITE DE PLASTICIDADE	
	12	25	37	48	212
Cápsula n°					
Cápsula + Solo Umido(g)	22,01	20,85	23,02	9,61	10,60
Cápsula + Solo Seco(g)	18,28	17,11	19,21	8,99	9,69
Peso da Cápsula(g)	6,94	6,13	6,47	6,40	5,89
Peso da Água(g)	3,73	3,74	4,71	0,62	0,91
Peso de Solo Seco(g)	11,34	10,98	12,74	2,58	3,80
Teor de Umidade(%)	32,89	34,06	36,97	23,94	23,96
Número de Golpes	27	19	13		



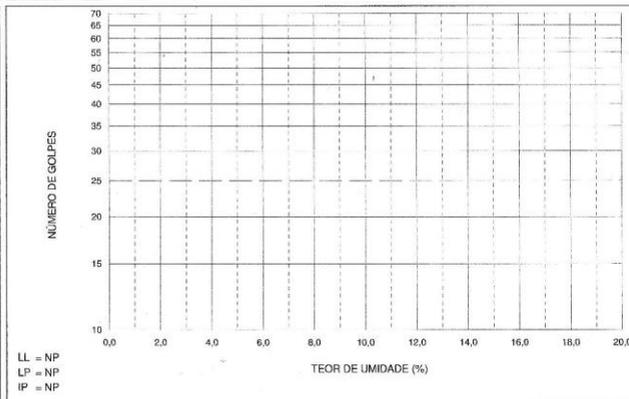
CLIENTE : WEG - EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A
LOCAL : BR101 - KM 330 - TUBARÃO/SC
AMOSTRA : 01
REGISTRO : 03/2013
OPERADOR : MANOEL P. COSTA

DATA: 26/09/2013

ENSAIOS FÍSICOS ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

UMIDADE HIGROSCÓPICA		PENEIRAÇÃO DA AMOSTRA			
Cápsula	50	Nº Pen.	Peso da Amostra Seca(g)		% que passa da amostra total
Solo Umido + Cápsula(g)	251,00		Retido	Passado	
Solo Seco + Cápsula(g)	251,00	2"			
Água(g)		1 1/2"			
Cápsula(g)	18,69	1"			
Solo Seco(g)	232,31	3/4"			
Teor Umidade(%)		1/2"			
Umidade Média		3/8"			
		4	1,55	249,45	99,38
		8			
Amostra total Umida	251,00	10	14,53	236,47	94,21
Pedregulho		20	7,25	243,75	97,30
Passado nº 10 umidade	251,00	40	16,13	234,87	93,57
Passado nº 10 seca	251,00	60	22,16	228,84	91,17
Amostra total seca	251,00	100			
Amostra Umida	100,00	200	59,17	40,83	16,27
Amostra Seca	100,00				

		LIMITE DE LIQUIDEZ	LIMITE DE PLASTICIDADE
Cápsula nº			
Cápsula + Solo Umido(g)			
Cápsula + Solo Seco(g)			
Peso da Cápsula(g)			
Peso da Água(g)			
Peso do Solo Seco(g)			
Teor de Umidade(%)			
Número de Golpes	NP		



CLIENTE : WEG - EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A
 LOCAL : BR101 - KM 330 - TUBARÃO/SC
 AMOSTRA : 02
 REGISTRO : 04/2013
 OPERADOR : MANOEL P. COSTA

hca

DATA: 26/09/2013

ANEXO E

RELATÓRIO DE SERVIÇOS TÉCNICOSPROVA DE CARGA ESTÁTICA EM PLACA - PCP

Ciente: TRACTEBEL ENERGIA S/A

Obra: Protótipo 2.1 Torre Eólica 120m

Localização: Capivari de Baixo, SC

Porto Alegre, 22 de setembro de 2014

SUMÁRIO:

INTRODUÇÃO.....	3
DADOS DOS PONTOS ENSAIADA.....	3
RESULTADO DOS ENSAIOS.....	3
NORMAS E PROJETOS CONSULTADOS.....	4
AFERIÇÕES DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO.....	4
DESCRIÇÃO DO ENSAIO.....	4
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	4
DADOS DE CAMPO – ANEXO I.....	5
GRÁFICO DA CURVA DE CARGA X DESLOCAMENTO – ANEXO II.....	10
CROQUIS DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS ENSAIADOS – ANEXO III.....	13

1. Introdução

Este relatório apresenta os resultados obtidos nas quatro provas de carga em placa executadas com o intuito de testar a capacidade de carga do solo para suportar os guindastes nos pontos de patolamento e mobilização dos equipamentos no município de Capivari de Baixo, Santa Catarina.

As prova de carga em placa foram executadas nos dias 18 de setembro de 2014, em conformidade com a Norma ASTM D 1196.

2. Dados dos ensaios

- Placa: 30 cm de diâmetro;

- Reação: escavadeira.

Coordenadas de locação dos ensaios.

Bases do Parque Eólico Xangri-lá		
DESCRIÇÃO	Latitude	Longitude
Ponto 1		
Ponto 2		
Ponto 3		
Ponto 4		

3. Resultado dos Ensaios

Abaixo é apresentado um quadro resumo dos resultados dos ensaios.

Descrição	Tensão Máxima (tf/cm ²)	Deslocamento Máximo (mm)	Deslocamento Residual (mm)
Ponto 1	12	1,16	0,59
Ponto 2	12	1,30	0,36
Ponto 3	12	1,37	0,68
Ponto 4	12	1,35	0,46

4. Normas e projetos consultados

Para a verificação e execução do ensaio relatado no presente, os seguintes documentos foram consultados:

- ASTM D – 1196/64: Prova de carga em placa para determinação do coeficiente "k".

5. Aferições dos equipamentos utilizados no ensaio

Para a execução do teste relatado no presente, foram utilizados equipamentos de propriedade da Fundare Engenharia Ltda, os quais seguem:

- Relógio comparador FE01: Relatório de calibração 18929-2014 – Metrosul
- Relógio comparador FE03: Relatório de calibração 13601-2014 – Metrosul
- Relógio comparador FE13: Relatório de calibração 09245-2014 – Metrosul
- Manômetro Zurich: Relatório de calibração 25215-2014 – Metrosul

6. Descrição do ensaio

No ensaio de prova de carga estática em placa foi utilizado incrementos de 0,85 tf de carga, a cada cinco minutos, caracterizando um ensaio rápido até que atingir 8,5tf com deslocamento admissível de 3mm.

A transmissão do carregamento ao solo foi feita através de placa circular rígida de aço com diâmetro de 300 mm, sendo que a aplicação dos carregamentos se deu através de um conjunto macaco hidráulico/bomba/manômetro de carga aferida, reagindo contra uma escavadeira.

7. Considerações finais

Os resultados apresentados neste relatório devem ser analisados pelo consultor de fundações e/ou projetista das mesmas, bem como pelo responsável pelo projeto estrutural da obra.

Este resultado limita-se ao dia 18 de setembro de 2014, data da conclusão dos ensaios.

ANEXO I
Dados de campo

Cliente: Tractebel

Local: Ponto 1

Obra: Tractebel - Capivari de baixo

Data do ensaio: 18/09/2014

Estágios de Carregamento							
Carga (tf)	Tensão (kg/cm ²)	Tempo (min)	FE01	FE03	FE13	Média	Deslocamento Médio (mm)
0,0	0,0	0	6,50	15,75	1,21	7,82	0,00
0,9	1,2	0	6,66	15,78	1,55	8,00	-0,18
		5	6,67	15,87	1,57	8,04	-0,22
1,7	2,4	0	6,79	15,91	1,70	8,13	-0,31
		5	6,81	15,95	1,72	8,16	-0,34
2,6	3,6	0	6,85	16,00	1,87	8,24	-0,42
		5	6,87	16,01	1,87	8,25	-0,43
3,4	4,8	0	6,89	16,04	1,96	8,30	-0,48
		5	6,91	16,06	1,98	8,32	-0,50
4,3	6,0	0	6,95	16,14	2,11	8,40	-0,58
		5	6,97	16,15	2,12	8,41	-0,59
5,1	7,2	0	7,03	16,20	2,23	8,49	-0,67
		5	7,05	16,23	2,25	8,51	-0,69
6,0	8,4	0	7,11	16,30	2,39	8,60	-0,78
		5	7,12	16,31	2,41	8,61	-0,79
6,8	9,6	0	7,18	16,37	2,53	8,69	-0,87
		5	7,20	16,39	2,57	8,72	-0,90
7,7	10,8	0	7,25	16,47	2,70	8,81	-0,99
		5	7,28	16,49	2,70	8,82	-1,00
8,5	12,0	0	7,33	16,56	2,85	8,91	-1,09
		5	7,35	16,57	2,87	8,93	-1,11
		10	7,38	16,61	2,91	8,97	-1,15
		30	7,39	16,63	2,91	8,98	-1,16
Estágio de Descarregamento							
6,4	9,0	0	7,35	16,62	2,84	8,94	-1,12
		5	7,35	16,62	2,83	8,93	-1,11
4,3	6,0	0	7,33	16,61	2,71	8,88	-1,06
		5	7,33	16,61	2,71	8,88	-1,06
2,1	3,0	0	7,30	16,57	2,58	8,82	-1,00
		5	7,30	16,56	2,57	8,81	-0,99
0,0	0,0	0	7,01	16,30	1,93	8,41	-0,59
		5	7,00	16,29	1,93	8,41	-0,59

ENGENHARIA		Ensaio de Placa						
FUNDARE		ENGENHARIA						
Cliente: Tractebel								
Local: Ponto 2								
Obra: Tractebel - Capivari de baixo								
Data do ensaio: 18/09/2014								
Estágios de Carregamento								
Carga (tf)	Tensão (kgf/cm ²)	Tempo (min)	FE01	FE03	FE13	Média	Deslocamento Médio (mm)	
0,0	0,0	0	3,32	5,33	6,40	5,02	0,00	
0,9	1,2	0	3,57	5,68	6,67	5,31	-0,29	
		5	3,59	5,70	6,67	5,32	-0,30	
1,7	2,4	0	3,65	5,78	6,75	5,39	-0,38	
		5	3,68	5,80	6,79	5,42	-0,41	
2,6	3,6	0	3,71	5,83	6,83	5,46	-0,44	
		5	3,72	5,85	6,85	5,47	-0,46	
3,4	4,8	0	3,78	5,91	6,93	5,54	-0,52	
		5	3,78	5,93	6,95	5,55	-0,54	
4,3	6,0	0	3,81	5,97	7,01	5,60	-0,58	
		5	3,81	5,98	7,02	5,60	-0,59	
5,1	7,2	0	3,87	6,09	7,11	5,69	-0,67	
		5	3,89	6,11	7,12	5,71	-0,69	
6,0	8,4	0	3,95	6,17	7,18	5,77	-0,75	
		5	3,98	6,19	7,20	5,79	-0,77	
6,8	9,6	0	4,10	6,27	7,32	5,90	-0,88	
		5	4,11	6,30	7,37	5,93	-0,91	
7,7	10,8	0	4,28	6,50	7,48	6,09	-1,07	
		5	4,30	6,51	7,49	6,10	-1,08	
8,5	12,0	0	4,43	6,62	7,67	6,24	-1,22	
		5	4,48	6,66	7,70	6,28	-1,26	
		10	4,50	6,67	7,72	6,30	-1,28	
		30	4,51	6,69	7,75	6,32	-1,30	
Estágios de Descarregamento								
6,4	9,0	0	4,33	6,55	7,59	6,16	-1,14	
		5	4,32	6,54	7,58	6,15	-1,13	
4,3	6,0	0	4,28	6,47	7,49	6,08	-1,06	
		5	4,27	6,45	7,48	6,07	-1,05	
2,1	3,0	0	4,20	6,39	7,42	6,00	-0,99	
		5	4,20	6,37	7,41	5,99	-0,98	
0,0	0,0	0	3,58	5,77	6,82	5,39	-0,37	
		5	3,58	5,75	6,81	5,38	-0,36	

FUNDARE

TRT-01-PCP-01 - Página 8 de 25

ENGENHARIA

FUNDARE
ENGENHARIA

Ensaio de Placa

Cliente: Tractebel

Local: Ponto 3

Obra: Tractebel - Capivari de baixo

Data do ensaio: 18/09/2014

Estágios de Carregamento							
Carga (tf)	Tensão (kgf/cm ²)	Tempo (min)	FE01	FE03	FE13	Média	Deslocamento Médio (mm)
0,0	0,0	0	7,50	7,21	8,02	7,58	0,00
0,9	1,2	0	7,69	7,38	8,16	7,74	-0,17
		5	7,70	7,41	8,17	7,76	-0,18
1,7	2,4	0	7,82	7,49	8,28	7,86	-0,29
		5	7,82	7,51	8,28	7,87	-0,29
2,6	3,6	0	7,91	7,51	8,34	7,92	-0,34
		5	7,95	7,53	8,39	7,96	-0,38
3,4	4,8	0	8,06	7,55	8,52	8,04	-0,47
		5	8,14	7,60	8,54	8,09	-0,52
4,3	6,0	0	8,28	7,63	8,66	8,19	-0,61
		5	8,29	7,65	8,67	8,20	-0,63
5,1	7,2	0	8,42	7,69	8,78	8,30	-0,72
		5	8,46	7,72	8,82	8,33	-0,76
6,0	8,4	0	8,57	7,78	8,93	8,43	-0,85
		5	8,58	7,79	8,96	8,44	-0,87
6,8	9,6	0	8,72	7,85	9,21	8,59	-1,02
		5	8,75	7,88	9,23	8,62	-1,04
7,7	10,8	0	8,86	7,93	9,39	8,73	-1,15
		5	8,88	7,96	9,42	8,75	-1,18
8,5	12,0	0	9,01	8,03	9,58	8,87	-1,30
		5	9,05	8,05	9,62	8,91	-1,33
		10	9,06	8,07	9,68	8,94	-1,36
		30	9,03	8,10	9,71	8,95	-1,37
Estágios de Descarregamento							
6,4	9,0	0	8,96	8,05	9,52	8,84	-1,27
		5	8,95	8,04	9,52	8,84	-1,26
4,3	6,0	0	8,86	8,03	9,48	8,79	-1,21
		5	8,82	8,03	9,45	8,77	-1,19
2,1	3,0	0	8,62	8,13	9,42	8,72	-1,15
		5	8,60	8,13	9,42	8,72	-1,14
0,0	0,0	0	7,90	7,53	9,40	8,28	-0,70
		5	7,88	7,51	9,39	8,26	-0,68

FUNDARE

TRT-01-PCP-01 - Página 9 de 25

ENGENHARIA

FUNDARE
ENGENHARIA

Ensaio de Placa

Cliente: Tractebel

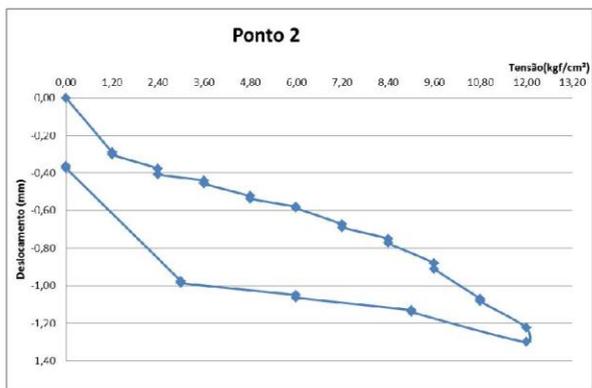
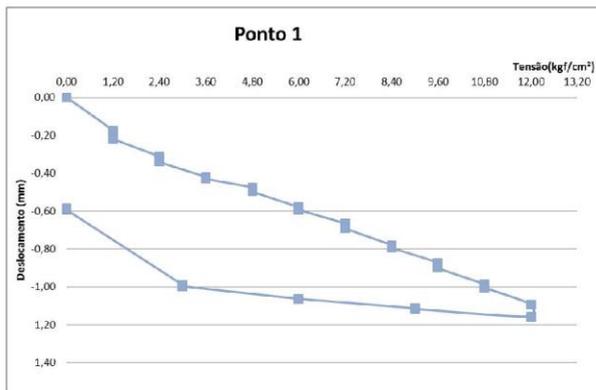
Local: Ponto 4

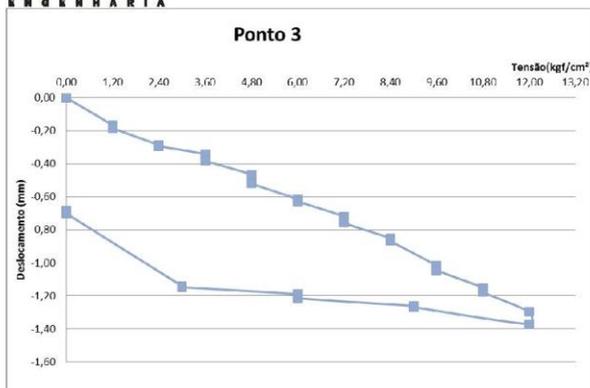
Obra: Tractebel - Capivari de baixo

Data do ensaio: 18/09/2014

Estágios de Carregamento							
Carga (tf)	Tensão (kgf/cm ²)	Tempo (min)	FE01	FE03	FE13	Média	Deslocamento Médio (mm)
0,0	0,0	0	9,86	5,35	5,37	6,86	0,00
0,9	1,2	0	10,05	5,62	5,55	7,07	-0,21
		5	10,06	5,62	5,59	7,09	-0,23
1,7	2,4	0	10,18	5,70	5,68	7,19	-0,33
		5	10,18	5,74	5,71	7,21	-0,35
2,6	3,6	0	10,27	5,78	5,79	7,28	-0,42
		5	10,31	5,80	5,80	7,30	-0,44
3,4	4,8	0	10,42	5,88	5,85	7,38	-0,52
		5	10,50	5,90	5,87	7,42	-0,56
4,3	6,0	0	10,64	5,96	5,95	7,52	-0,66
		5	10,65	5,97	5,96	7,53	-0,67
5,1	7,2	0	10,78	6,06	6,04	7,63	-0,77
		5	10,82	6,07	6,06	7,65	-0,79
6,0	8,4	0	10,93	6,13	6,15	7,74	-0,88
		5	10,94	6,15	6,16	7,75	-0,89
6,8	9,6	0	11,08	6,27	6,24	7,86	-1,00
		5	11,11	6,32	6,27	7,90	-1,04
7,7	10,8	0	11,22	6,43	6,36	8,00	-1,14
		5	11,24	6,44	6,37	8,02	-1,16
8,5	12,0	0	11,37	6,62	6,46	8,15	-1,29
		5	11,41	6,65	6,48	8,18	-1,32
		10	11,42	6,67	6,52	8,20	-1,34
		30	11,39	6,70	6,53	8,21	-1,35
Estágios de Descarregamento							
6,4	9,0	0	11,32	6,54	6,49	8,12	-1,26
		5	11,31	6,53	6,48	8,11	-1,25
4,3	6,0	0	11,22	6,44	6,43	8,03	-1,17
		5	11,18	6,43	6,43	8,01	-1,15
2,1	3,0	0	10,98	6,37	6,37	7,91	-1,05
		5	10,96	6,36	6,36	7,89	-1,03
0,0	0,0	0	10,26	5,77	5,96	7,33	-0,47
		5	10,24	5,76	5,96	7,32	-0,46

ANEXO II**Gráfico Carga Aplicada X Deslocamento Medido**





ANEXO III**Croquis de localização dos pontos ensaiados**

