

**REDE DOCTUM DE ENSINO  
FACULDADE INTEGRADAS DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO: TIPOS, MÉTODOS EXECUTIVOS E  
PATOLOGIAS.**

**ANACYR RAFAEL DE OLIVEIRA JÚNIOR  
FERNANDO DA SILVA ARAÚJO JÚNIOR**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**CARATINGA/MG**

**2016**

**ANACYR RAFAEL DE OLIVEIRA JÚNIOR  
FERNANDO DA SILVA ARAÚJO JÚNIOR**

**REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO: TIPOS, MÉTODOS EXECUTIVOS E  
PATOLOGIAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Prof. Eng. Civil João Moreira de Oliveira Júnior (DOCTUM/MG).

**CARATINGA/MG**

**2016**

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

**REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO: TIPOS, MÉTODOS EXECUTIVOS E PATOLOGIAS**

Nome completo do aluno: ANACYR RAFAEL DE OLIVEIRA JÚNIOR / FERNADO DA SILVA ARAÚJO JÚNIOR

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Rômulo Campos Braga, Daniel Mageste Butters e João Moreira de Oliveira Júnior, às 19 horas e 30 minutos do dia 11 de julho de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: Aprovado (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: Bom (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação:  SIM ( ) NÃO

Caratinga, 11 de julho de 2016

  
Professor Orientador e Presidente da Banca

  
Professor Avaliador 1

  
Professor Avaliador 2

  
Aluno(a)

  
Coordenador(a) do Curso

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela vida, família e amigos.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela por onde hoje vislumbro um horizonte superior, enviado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes. Agradecemos a todos os professores por nos proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a nós, não somente por terem nos ensinado, mas por terem nos feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte deste processo, nosso muito obrigado!

OLIVEIRA, Anacyr; ARAÚJO, Fernando. **Rebaixamento de Lençol Freático: tipos, métodos executivos e patologias**. Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

## RESUMO

O método de rebaixamento de lençol freático é normalmente empregado para melhorar as condições do solo para facilitar a execução de escavação, estabilização de solo e obras subterrâneas, tal método pode ser temporário, como acontece na maioria dos casos, ou permanente, onde se exigem sistemas de controle mais eficientes. Na maioria dos casos a aplicação do sistema é de suma importância para tornar a obra viável. A presente pesquisa aborda os tipos de sistemas para a execução do rebaixamento de lençol freático, sendo eles por bombeamento direto, ponteiras filtrantes, poços profundos, drenagem por eletrosmose, drenos e galeria de drenagem, também serão abordadas técnicas de execução, os tipos de equipamentos e materiais, metodologias de execução, indicações, funcionalidades, consequências e impactos ambientais que essa prática pode ocasionar. O estudo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Caratinga/MG (em construção) mostra a utilização do método das ponteiras filtrantes “WELLPOINTS” para a estabilização do fundo da escavação na construção da Estação Elevatória de Esgoto nº3 ou Estação Elevatória Bruta - Final.

**Palavras-chave:** Lençol freático; Ponteiras filtrantes; Rebaixamento.

OLIVEIRA, Anacyr; ARAÚJO, Fernando. **Drawdown of Groundwater : types , business methods and conditions.** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

## **ABSTRACT**

The downgrade method of the water table is usually used to improve soil conditions to facilitate the implementation of excavation, soil stabilization and underground works, such a method may be temporary, as in most cases, or permanent, where demand systems more efficient control. In most cases the application of the system is of paramount importance to make viable work. This research addresses the types of systems for the implementation of the water table drawdown, and they by direct pumping, filter tips, deep wells, drainage electroosmosis, drains and drainage gallery, will also be addressed implementation techniques, types of equipment and materials, implementation methodologies, information, features, consequences and environmental impacts that this practice can cause. The study of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the city of Caratinga/MG (under construction) shows the use of the method of filter tips "WELLPOINTS" to stabilize the excavation of the background in the construction of Sewage Pumping Station nº3 or Pumping Station gross - Final.

**Key-words:** Water table; Filter tips; Relegation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b>	– Sistema de rebaixamento por bombeamento direto. . . . .	15
<b>Figura 2</b>	– Rebaixamento de grandes áreas com “pequena” espessura de camada permeável. . . . .	16
<b>Figura 3</b>	– Bomba instalada no fundo da vala. . . . .	17
<b>Figura 4</b>	– Exemplo de execução de rebaixamento por bombeamento direto. . . . .	17
<b>Figura 5</b>	– Ruptura do fundo da escavação. . . . .	18
<b>Figura 6</b>	– Situação em que o sistema de rebaixamento por bombeamento é econômico. . . . .	19
<b>Figura 7</b>	– Drenos Horizontais Profundos (DHP) e trincheira drenante. . . . .	19
<b>Figura 8</b>	– Vista do conjunto das ponteiras acopladas ao tubo coletor. . . . .	20
<b>Figura 9</b>	– Esquema de funcionamento de uma câmara de vácuo. . . . .	21
<b>Figura 10</b>	– Esquema da casa de bombas. . . . .	22
<b>Figura 11</b>	– Conjunto de bombas centrífuga e de vácuo. . . . .	22
<b>Figura 12</b>	– Processo de instalação da ponteira. . . . .	23
<b>Figura 13</b>	– Esquema de um sistema de rebaixamento com ponteiras filtrantes. . . . .	23
<b>Figura 14</b>	– Mangote de ligação da ponteira com o tubo coletor. . . . .	24
<b>Figura 15</b>	– Exemplo de rebaixamento com três estágios de ponteiras. . . . .	25
<b>Figura 16</b>	– Sistema de rebaixamento com injetores. . . . .	26
<b>Figura 17</b>	– Detalhes do injetor. . . . .	27
<b>Figura 18</b>	– Detalhes gerais de um sistema de rebaixamento por injetores. . . . .	27
<b>Figura 19</b>	– Seção esquemática de um tubo ejetor. . . . .	28
<b>Figura 20</b>	– Seção esquemática de um poço com bombas submersa. . . . .	29
<b>Figura 21</b>	– Dreno vertical de conexão (alívio). . . . .	30
<b>Figura 22</b>	– Estabilização de um talude com drenos horizontais profundos (DHP). . . . .	31
<b>Figura 23</b>	– Esquemas de trincheiras drenantes. . . . .	32
<b>Figura 24</b>	– Esquema de drenagem por eletromose. . . . .	32
<b>Figura 25</b>	– Esquema de eletrodos. . . . .	33
<b>Figura 26</b>	– Utilização da eletromose na inversão do fluxo de percolação. . . . .	33
<b>Figura 27</b>	– Tabela dos tipos de solo X coeficiente de permeabilidade. . . . .	34
<b>Figura 28</b>	– Perfil mostrando a influência do solo na caracterização de medidores freático e piezométrico. . . . .	35
<b>Figura 29</b>	– Aplicabilidade geral dos sistemas de rebaixamento. . . . .	36
<b>Figura 30</b>	– Vista de corte da bomba centrífuga. . . . .	37
<b>Figura 31</b>	– Curvas característica de uma bomba centrífuga. . . . .	38
<b>Figura 32</b>	– Vista de um rotor de bomba de vácuo desmontado. . . . .	38
<b>Figura 33</b>	– Vista do corte da bomba de eixo vertical de vários estágios. . . . .	39
<b>Figura 34</b>	– Vista aérea da Estação Elevatória de Esgoto nº3 (ainda em construção). . . . .	41

<b>Figura 35</b>	– Nivel d'água exposto após a escavação. . . . .	42
<b>Figura 36</b>	– Corte do projeto de rebaixamento provisório do N.A. . . . .	42
<b>Figura 37</b>	– Perfil do solo em estudo. . . . .	43
<b>Figura 38</b>	– Ponteira de PVC ranhurada. . . . .	43
<b>Figura 39</b>	– Espaçamento das ponteiras. . . . .	44
<b>Figura 40</b>	– Mangueira de ligação entre a ponteira e o tubo coletor. . . . .	44
<b>Figura 41</b>	– Tubo coletor 4" de ferro. . . . .	45
<b>Figura 42</b>	– Instalação da bomba de vácuo. . . . .	45
<b>Figura 43</b>	– Tubulação de recalque e descarga. . . . .	46
<b>Figura 44</b>	– Tela de nylon $\phi 0,60\text{mm}$ . . . . .	46
<b>Figura 45</b>	– Escavadeira hidraulica durante a escavação da vala. . . . .	47
<b>Figura 46</b>	– Reservatório e bomba de alta pressão. . . . .	48
<b>Figura 47</b>	– Tubo selado com argila. . . . .	48
<b>Figura 48</b>	– Equipamento de perfuração de hélice contínua. . . . .	49
<b>Figura 49</b>	– Fundo da vala após a execução das estacas. . . . .	49
<b>Figura 50</b>	– Execução da parte inferior da elevatória. . . . .	50
<b>Figura 51</b>	– Poços de inspeção. . . . .	50
<b>Figura 52</b>	– Conjunto de bombas. . . . .	51
<b>Figura 53</b>	– Gerador a diesel. . . . .	51



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMT	Altura Manométrica Total
DHP	Dreno Horizontal Profundo
EEB	Estação Elevatória Bruta
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
N.A.	Nível de Água
PVC	Policloreto de Vinilla

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	12
<b>1.2.1 Objetivo geral</b>	12
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b>	12
1.3 METODOLOGIA	12
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>14</b>
2.1 REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO	14
<b>2.1.1 Bombeamento direto (ou esgotamento de vala)</b>	15
2.1.1.1 Execução	16
2.1.1.2 Desvantagens	18
<b>2.1.2 Sistema de Ponteiros Filtrantes (“Well Point System”)</b>	19
2.1.2.1 Tipos de ponteiros	20
2.1.2.2 Sistema de vácuo	20
2.1.2.3 Sistema de bombas	22
2.1.2.4 Execução	23
2.1.2.5 Desvantagens	24
<b>2.1.3 Sistema de poços profundos</b>	25
2.1.3.1 Sistema com injetores ou ejetores	25
2.1.3.2 Sistema com bombas submersas	28
<b>2.1.4 Drenos</b>	30
2.1.4.1 Drenos de alívio	30
2.1.4.2 Drenos horizontais profundos (DHP)	31
2.1.4.3 Trincheira drenante	31
<b>2.1.5 Eletrosmose</b>	32
<b>2.1.6 Galeria de Drenagem</b>	34
2.2 ESCOLHA DO SISTEMA DE REBAIXAMENTO APROPRIADO	34
<b>2.2.1 Conhecimento do Subsolo</b>	34
<b>2.2.2 Medidores Piezométricos e Freáticos</b>	35
<b>2.2.3 Tipo de Obra</b>	35
2.3 TIPOS DE BOMBAS UTILIZADOS	36
<b>2.3.1 Bomba Centrífuga</b>	36
<b>2.3.2 Bomba de Vácuo</b>	38
<b>2.3.3 Bomba Fundo de Poço (Sapo)</b>	39
<b>2.3.4 Bomba de Eixo Vertical</b>	39

2.4 PATOLOGIAS DECORRENTES DO REBAIXAMENTO . . . . .	40
<b>3 ESTUDO DE CASO . . . . .</b>	<b>41</b>
3.1 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO Nº 3 (EEE) . . . . .	41
3.1.1 Rebaixamento de lençol freático . . . . .	41
3.1.2 Análise Crítica . . . . .	47
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>53</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO A LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS . . . . .</b>	<b>56</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O rebaixamento de lençol freático é compreendido pelo ato de remover a água subterrânea a fim de condicionar as propriedades do solo de tal forma que torne viável a execução de obras subterrâneas ou em ambientes saturados e conseqüentemente instáveis. As águas subterrâneas podem ser classificadas como aquíferas ou freáticas, onde a primeira se encontra confinada devido à formação geológica que a compõe, a mesma apresenta pressão maior que a atmosférica onde suas recargas acontecem de cotas superiores a de extração, por outro lado as freáticas não estão confinadas possuindo assim a pressão idêntica à atmosférica onde suas recargas acontecem pelo fluxo local (TUCCI, 2006).

Ao decorrer desta pesquisa foi feita a revisão dos conceitos e métodos para a execução do rebaixamento, utilizando de literatura científica, entrevistas com profissionais aptos e visitas ao canteiro de obra.

A presente pesquisa teve o intuito de auxiliar na análise de execução do processo de rebaixamento do nível d'água para a escavação e construção da Estação Elevatória de Esgoto número 3 ou Estação Elevatória Bruta - Final pertencente à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Caratinga/MG (ainda em construção), cuja localização é próxima ao curso do rio que dá nome a cidade.

Esta pesquisa verificou o processo de execução, possíveis falhas e os resultados obtidos com o rebaixamento de lençol freático.

Sendo que o mesmo será dividido em 4 (quatro) capítulos, onde o primeiro definirá os objetivos, justificar a presente pesquisa e a metodologia, o segundo se trata da revisão bibliográfica onde recruta todos os parâmetros para a execução do terceiro capítulo que será o estudo de caso, e finalmente o quarto capítulo que virá com as considerações finais.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa foi desenvolvida através de uma revisão bibliográfica para agrupar conceitos, métodos e situações decorrentes do rebaixamento de lençol freático, visando uma melhor compreensão sobre assunto.

Segundo Caputo (1987, pág. 216):

Ocorre com frequência nas instalações de redes subterrâneas e no preparo do terreno para a execução de fundações (edifícios, pontes, barragens etc.), a presença do nível d'água acima da cota em que estas obras deverão ser construídas. Ora, a presença da água nas cavas de fundação, como é óbvio, apresenta vários inconvenientes, pois não só dificulta ou mesmo impossibilita o trabalho como, por outro lado, modifica o equilíbrio das terras, provocando a instabilidade do

fundo da escavação e o desmoronamento dos taludes.

Amparado pelo autor a presente pesquisa tem o papel de trazer a tona os diversos métodos de rebaixamento de lençol freático, bem como as indicações de cada método para os diferentes tipos de solos e obras, atentando para as possíveis patologias recorrentes desta prática.

## 1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos da presente pesquisa.

### 1.2.1 Objetivo geral

Estudar o método utilizado para o rebaixamento de lençol freático na construção da Estação Elevatória de Esgoto número 3 ou Estação Elevatória Bruta - Final na cidade de Caratinga/MG para posterior análise de eficácia deste processo.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Pesquisar os métodos mais utilizados para realizar o rebaixamento de lençol freático.

Conhecer os parâmetros para a aplicação do método mais eficaz.

Compreender os tipos de equipamentos utilizados, suas funções e peculiaridades durante o processo de rebaixamento.

Pesquisar sobre as possíveis patologias decorrentes do rebaixamento e como elas ocorrem.

## 1.3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram utilizadas varias fontes, sendo elas:

Para a revisão bibliográfica e formação de conceitos, foi utilizado referencial teórico, trabalhos acadêmicos e artigos científicos.

Já na fase do estudo de caso foram coletados dados através de uma entrevista com o engenheiro responsável pela obra, visita técnica onde foi observado o método de execução desde a instalação do sistema até a etapa de funcionamento estável, porém as visitas ocorreram durante o horário de expediente trazendo limitações à coleta de dados. Também foi utilizado um levantamento de estudos geotécnicos pertinente a obra em estudo.

A coleta de dados aconteceu parte durante as visitas e parte durante entrevista. Durante as visitas foram definidas as condições do solo, a causa do problema e a retirada de dados, ora que, durante a entrevista foram fornecidos dados técnicos obtidos através de documentos provenientes

da execução de sondagem, projeto de rebaixamento provisório e estudo e análise de estabilidade do solo (Anexo A).

O trabalho foi organizado da seguinte forma: a exposição dos objetivos; a criação de conceitos através de pesquisa; a organização dos dados obtidos no estudo de caso e a conclusão final onde mostra se foram alcançados os objetivos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo consiste no agrupamento de uma literatura técnica que através desta foram extraídos conceitos para a confecção do estudo de caso. Ao decorrer deste capítulo serão expostos os tipos de rebaixamento atualmente utilizados, seus métodos de aplicação, os instrumentos utilizados e as possíveis patologias que porventura possam acontecer.

### 2.1 REBAIXAMENTO DE LENÇOL FREÁTICO

Para a engenharia civil é de grande valia o conhecimento e o estudo das águas subterrâneas. As águas superficiais transformam o relevo, são utilizadas na geração de energia e para o abastecimento e consumo humano. As águas subterrâneas também são utilizadas para o abastecimento, porém durante a execução de obras de escavação (subterrâneas) elas conferem e alteram propriedades ao solo os tornando instáveis para a construção de edificações.

Quando esta situação se torna presente, o rebaixamento de lençol freático é uma técnica eficaz e muito utilizada, podendo ser temporário ou permanente.

Existem alguns métodos de rebaixamento de lençol freático, segundo os autores (Alonso 2007; Caputo 2007; e Grandis 1998) os mais utilizados são:

- Bombeamento direto (pode ser complementado com Drenos Horizontais Profundos “DHP”);
- Ponteiros filtrantes;
- Poços profundos;
- Drenagem por eletrosmose;
- Drenos verticais de alívio;
- Galeria de drenagem.

Porém, após ou durante o rebaixamento, dependendo da geologia da região, podem ocorrer efeitos indesejados.

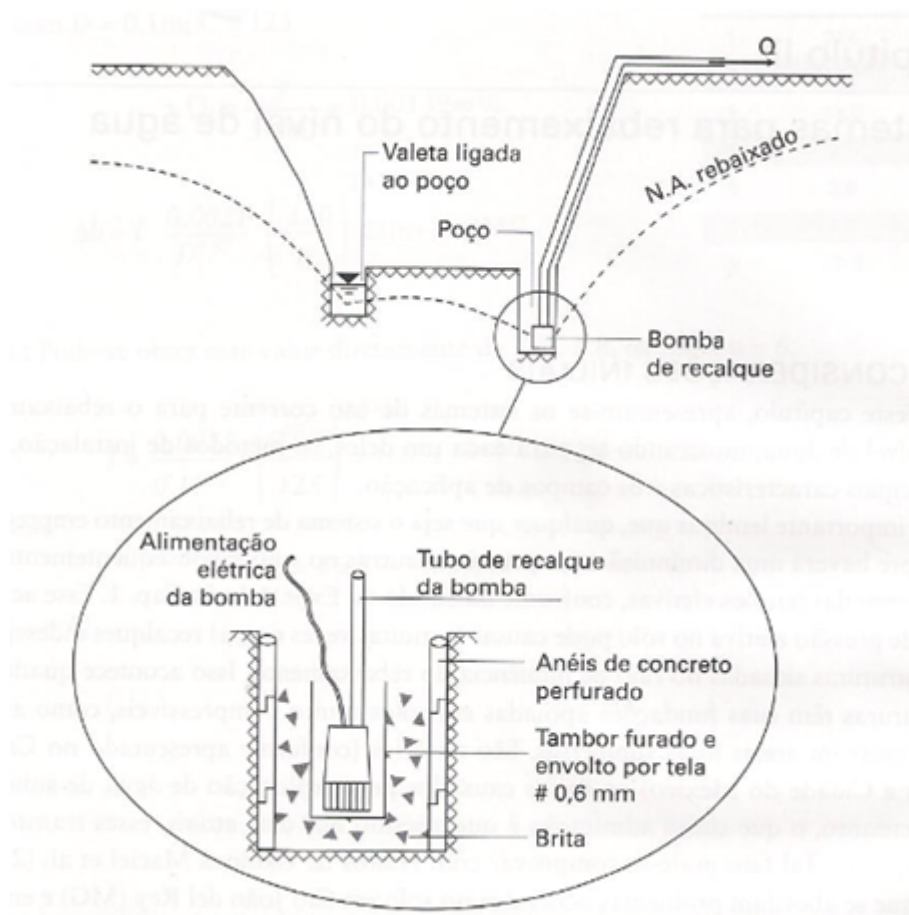
Rebaixamentos de longa duração diminuem a umidade média e conseqüentemente a pressão neutra do solo, gerando o aumento da pressão efetiva no mesmo, provocando adensamento do terreno, ou seja, o solo sofrerá recalques. Este assunto será pormenorizado mais adiante neste capítulo.

O controle da água subterrânea tem a presente função de facilitar a execução de obras enterradas, segundo Grandis (1998, pág. 581), na medida em que:

- a. Intercepta a percolação d'água que emerge nos taludes ou fundo de escavações. A água prejudica grandemente os processos construtivos e pode ser fator impeditivo ou de considerável aumento de custos de uma construção enterrada;
- b. Aumenta a estabilidade dos taludes e evita o carreamento hidráulico do solo destes taludes e do fundo da escavação;
- c. Reduz a carga lateral em estruturas de escoramento;
- d. Elimina ou reduz a necessidade do emprego de ar comprimido em túneis;
- e. Melhora as condições de escavação e reaterro. Escavações submersas são sempre mais lentas e dispendiosas;
- f. Permite manter basicamente inalteradas as condições de suporte do terreno localizado subjacente ao apoio da estrutura a ser construída.

### 2.1.1 Bombeamento direto (ou esgotamento de vala)

Este sistema por ser de fácil execução é tido como o mais simples de todos segundo Alonso 2007, todavia, para o seu bom desempenho o profissional que o executa deve atentar para os cuidados na hora da execução, instalando a tela de nylon e colocando birtas envolvendo o tambor como demonstra a figura 1, a fim de evitar o carreamento de partículas do solo, evitando assim, o solapamento de fundações vizinhas e recalques acentuados.



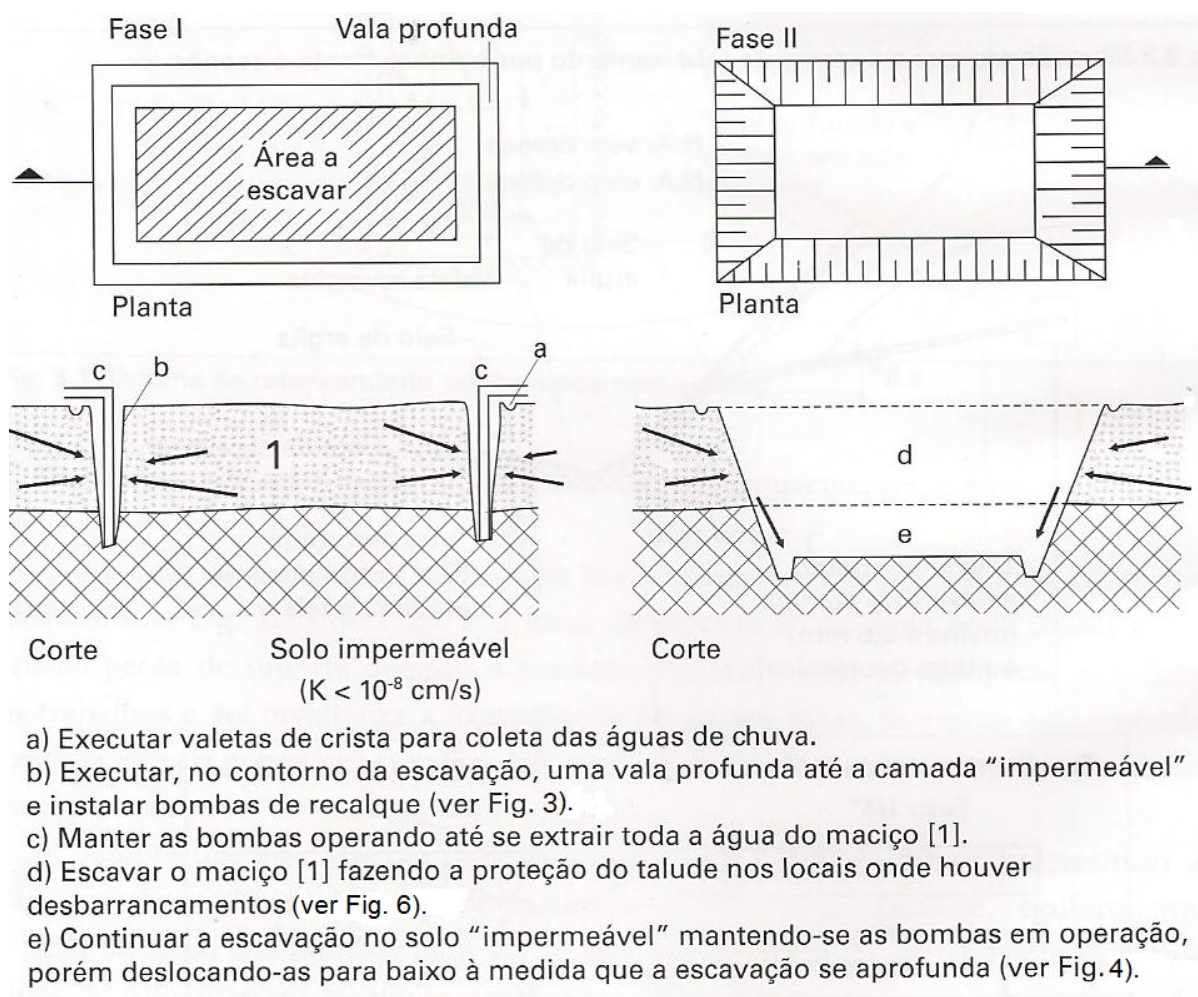
**Figura 1:** Sistema de rebaixamento por bombeamento direto.

Fonte: Alonso(2007).



## 2.1.1.1 Execução

Na execução deste método são abertas valas por todo perímetro da obra, sendo uma mais superficial com intuito de coletar e escoar águas pluviais e encaminhá-las para fora do canteiro de obras, posteriormente uma paralela interna à primeira vala é feita, essa sendo profunda, alcançando um solo impermeável (figura 2, fase I).



**Figura 2:** Rebaixamento de grandes áreas com "pequena" espessura de camada permeável.

Fonte: Alonso(2007).

Feitas as valas um conjunto de motor bomba é inserido no ponto de cota mais baixa, local destinado a receber todo o fluido transportado por gravidade, como mostra a figura 3, permitindo que a escavação possa ser feita. Na medida em que a escavação vai sendo mais profunda as bombas são deslocadas com o mesmo (figura 4).

A escolha do conjunto motor bomba, geralmente, é feita de maneira empírica, ou por experiências anteriores, são de fácil manipulação e locação no canteiro. Podem ser encontradas no comércio.



**Figura 3:** Bomba instalada no fundo da vala.  
Fonte: Alonso(2007).



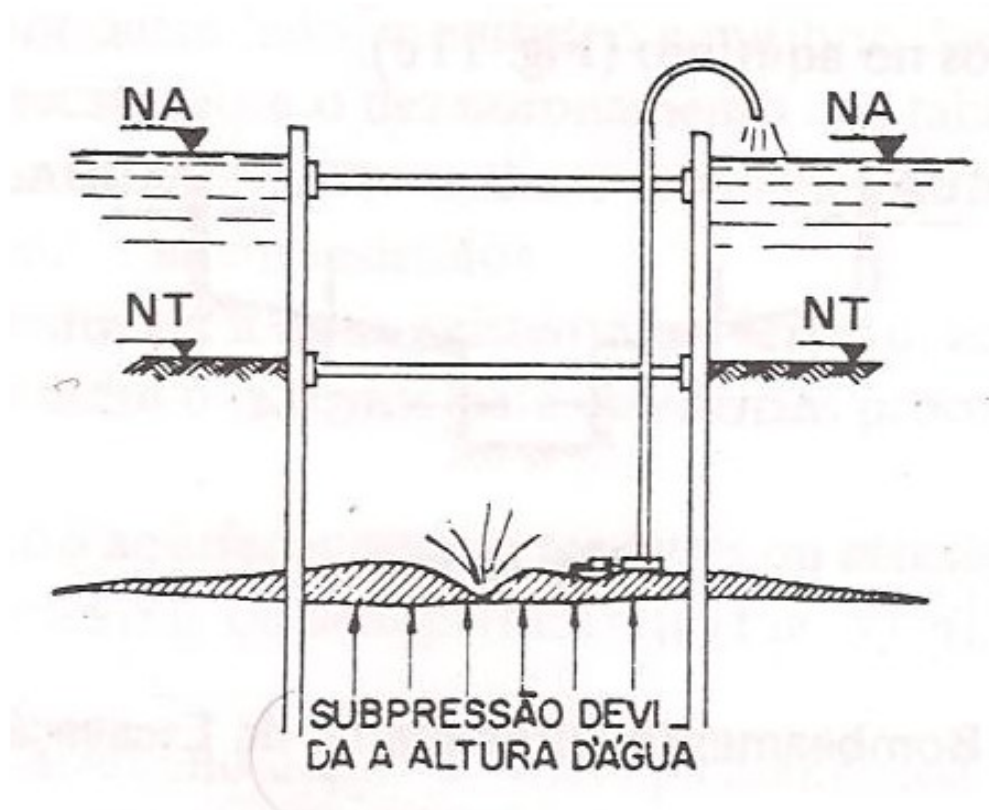
**Figura 4:** Exemplo de execução de rebaixamento por bombeamento direto.  
Fonte: Alonso(2007).

### 2.1.1.2 Desvantagens

As desvantagens desse sistema são a convivência com o terreno encharcado (figura 4) e a lentidão de drenagem dos taludes laterais (figura 7).

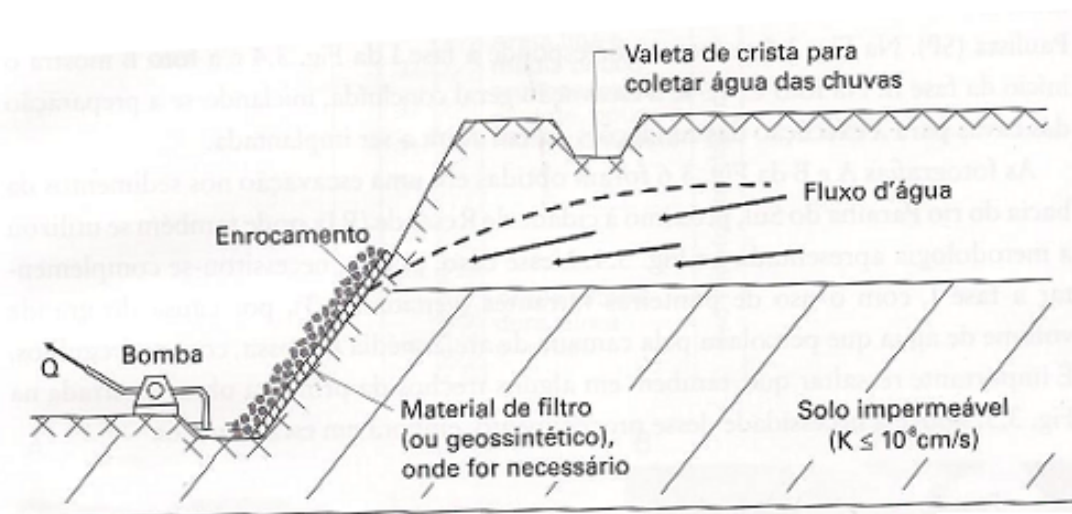
Segundo Alonso (2007, p. 80), esse sistema de rebaixamento apresenta alguns inconvenientes:

- a) No caso de escavações suportadas por cortinas estanques contínuas, a força de percolação da água pode causar substancial perda de suporte quando o gradiente hidráulico for elevado; isso prejudica os trabalhos e até inviabiliza a execução de fundações rasas. Se existir uma camada argilosa, pouco permeável, pode ocorrer a ruptura do fundo da escavação (figura 5).
- b) Sempre que esse sistema de rebaixamento for usado, é importante verificar a não ocorrência de carreamento de partículas de solo, observando-se, regularmente, a água na saída das bombas para ver se está saindo limpa. O carreamento de partículas de solo acarreta recalques acentuados em estruturas vizinhas à escavação, em particular em calçamentos, dutos de água ou esgoto e outros tipos de obras apoiadas acima da cota da escavação. Ao constatar-se o carreamento de solo, deve-se melhorar o sistema de captação da água, dispondo-se de sistemas de filtro onde ocorrem esses carreamentos (figura 6). Em situações extremas, pode-se recorrer a uma prática comumente usada em taludes de estradas, que consiste na execução de Drenos Horizontais Profundos (DHP) eventualmente complementados por uma trincheira drenante (figura 7).

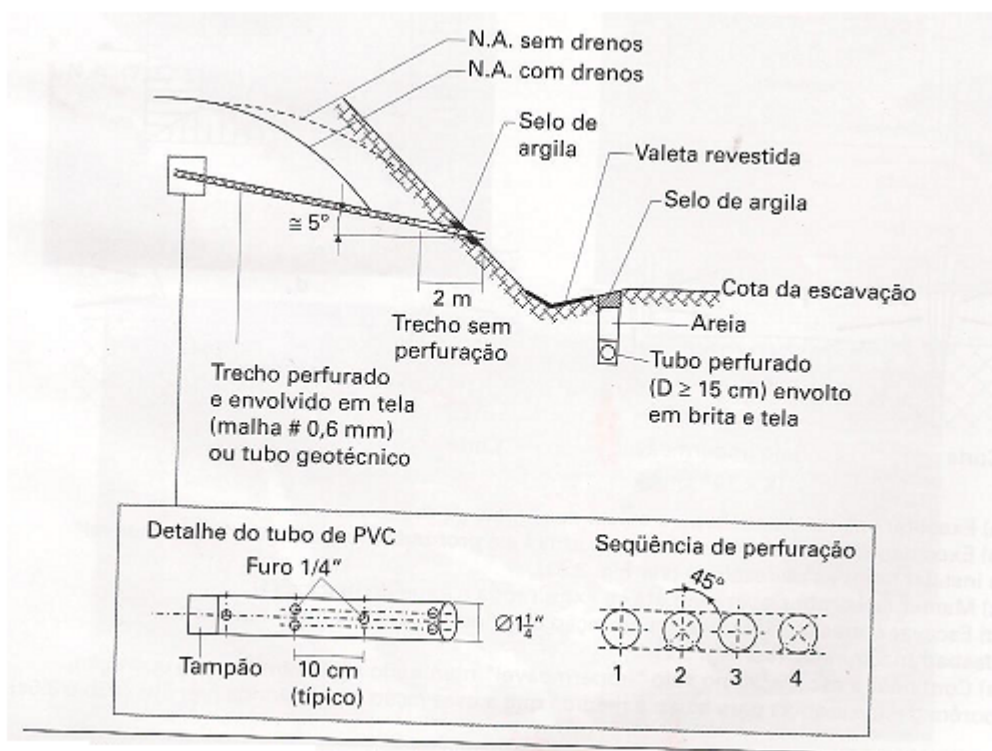


**Figura 5:** Ruptura do fundo da escavação.

Fonte: Caputo (1987).



**Figura 6:** Situação em que o sistema de rebaixamento por bombeamento é econômico.  
 Fonte: Alonso(2007).



**Figura 7:** Drenos Horizontais Profundos (DHP) e trincheira drenante.  
 Fonte: Alonso(2007).

### 2.1.2 Sistema de Ponteiros Filtrantes (“Well Point System”)

Como o próprio nome diz, este sistema utiliza ponteiros cravados no solo ao longo do perímetro onde será feito o rebaixamento e ligada a essas ponteiros tem-se um tubo coletor (figura 8), ligado a um conjunto de bomba centrífuga e bomba de vácuo.

Tanto Alonso (2007, p. 85) como Grandis (1998, p. 585) dizem que o tubo coletor pode ser de aço ou de PVC, com 4" de diâmetro.



**Figura 8:** Vista do conjunto das ponteiros acopladas ao tubo coletor.

Fonte: Alonso(2007).

#### 2.1.2.1 Tipos de ponteiros

As ponteiros mais comuns são de PVC perfurados e tubos galvanizados, podendo também serem feitas de cano de cobre a qual é menos usada.

Segundo Grandis (1998, p. 584) “As ponteiros mais utilizadas no Brasil tem diâmetro de 3,8 a 5,08 cm ( $1\frac{1}{2}$ " a 2") e 0,3 a 1,0 m de comprimento”.

Essas ponteiros podem ser do tipo perfuradas e envolvidas com tela de nylon com malha de 0,6 mm, para evitar que haja carreamento do solo na retirada da água. Outro tipo de ponteira é a ranhurada com aberturas de 0,6 mm de espessura e 10 cm de comprimento, dessa forma isenta a necessidade da tela de nylon.

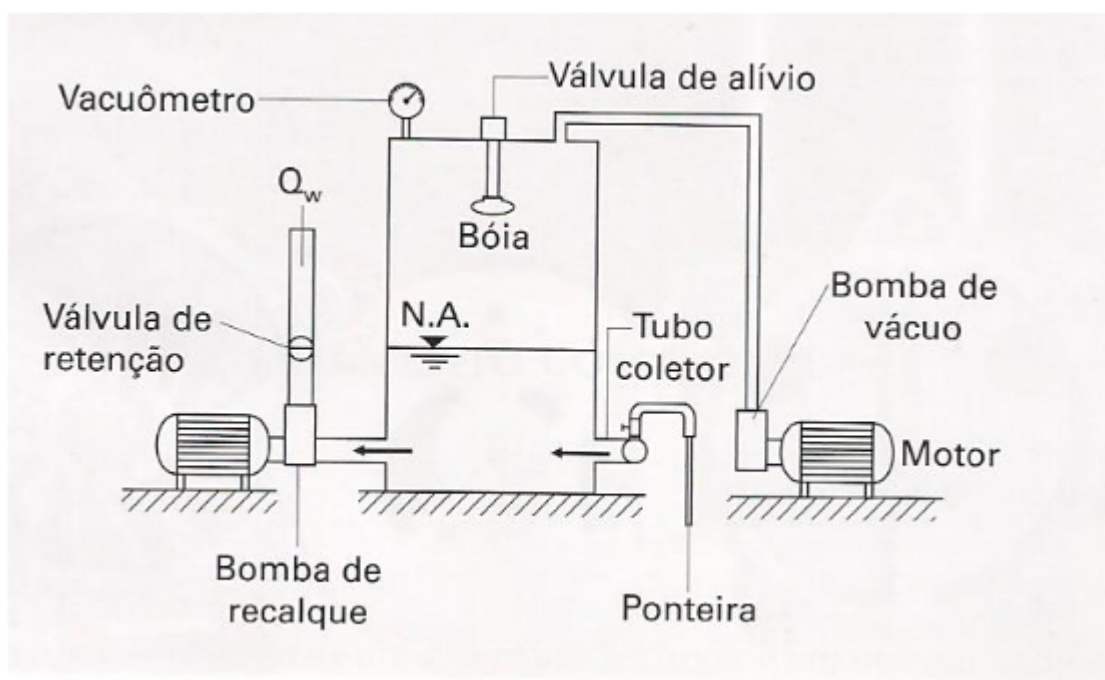
Como mostra Alonso (2007, p. 88), “em alguns tipos de terreno, a tela pode ser substituída por material geossintético, porem, nesse caso, a eficiência da ponteira costuma ser menor”.

Cada ponteira permite a retirada de uma vazão da ordem de 1 metro cúbico por hora, alcançando, em condições favoráveis, no máximo 2 metros cúbicos por hora.

#### 2.1.2.2 Sistema de vácuo

O sistema de vácuo é constituído por uma bomba, uma câmara de vácuo e pelo tubo coletor. O tubo coletor transporta a água retirada do solo pelas ponteiros através do sistema de

vácuo, que faz com que a água seja succionada para a câmara de vácuo. Após este processo a água é retirada para fora da obra com o auxílio de uma bomba centrífuga (figura 9).



**Figura 9:** Esquema de funcionamento de uma câmara de vácuo.

Fonte: Alonso(2007).

Segundo Alonso (2007, p. 90) “O vácuo existente na câmara é medido com o auxílio do vacuômetro. Normalmente, o vácuo mínimo deve ser da ordem de 7 m de coluna de água ou 21” de Hg (1 atm = 10 m de água = 30” de Hg).”

Segundo Grandis (1998, p. 584) “O vácuo mínimo necessário a subida da água pode ser estimado através da equação 2.1”:

$$V \geq H + h' - h_w + \Delta h \quad (2.1)$$

Onde,

- V - Vácuo
- H - Altura estática do nível d’água até o solo impermeável.
- h’ - Altura do centro do tubo coletor até o nível d’água estático.
- h<sub>w</sub> - Altura do solo impermeável até o nível d’água rebaixado.
- Δh é a soma das perdas de carga de entrada da água no filtro e nas tubulações do sistema.

### 2.1.2.3 Sistema de bombas

O conjunto de bomba centrífuga e de vácuo (figura 10 e 11) podem ser de varias potências, podendo atender em casos usuais até 60 ponteiros.

Segundo Grandis (1998, p. 590) “Um conjunto para ponteiros é dotado de uma bomba centrífuga para bombear a água, de uma bomba de vácuo para bombear o ar e de uma câmara com válvula flutuante, cuja função é de separar o ar da água (também chamada de câmara de vácuo)”.



**Figura 10:** Esquema da casa de bombas.

Fonte: Alonso(2007).

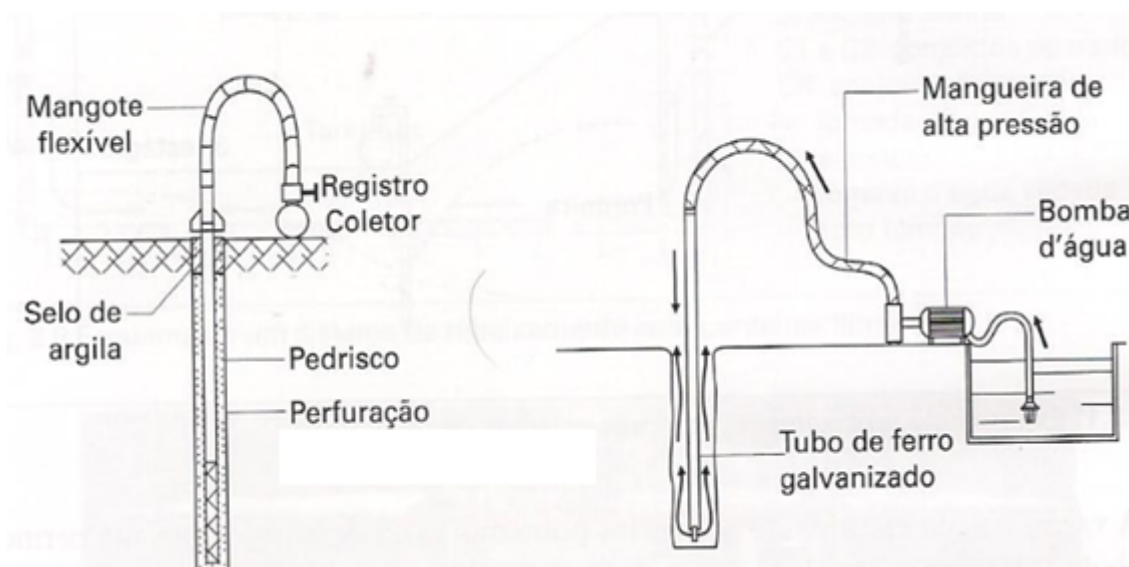


**Figura 11:** Conjunto de bombas centrífuga e de vácuo.

Fonte: Arquivo do Autor.

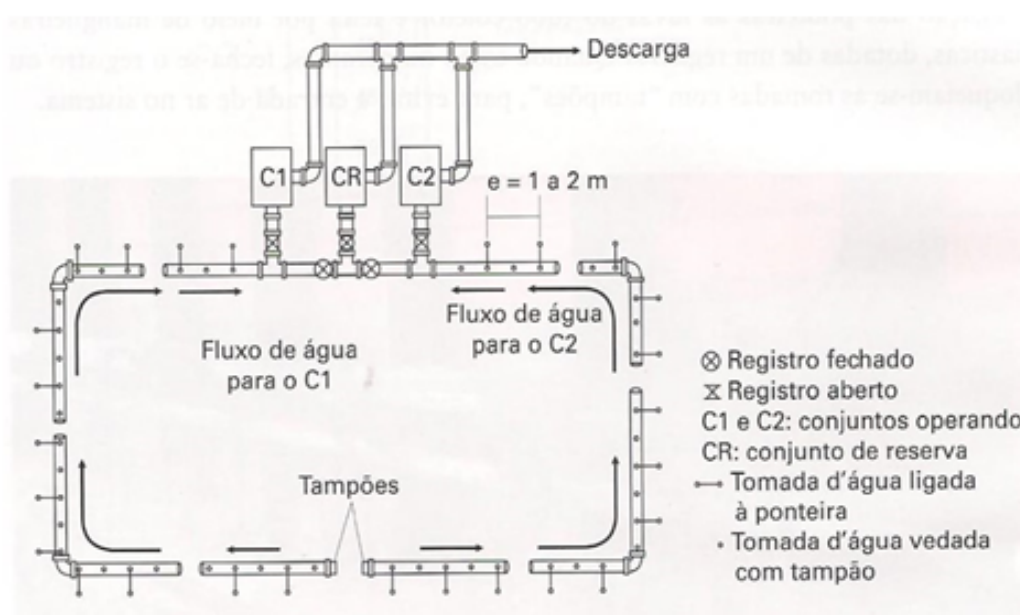
### 2.1.2.4 Execução

Para a execução desse sistema são feitos poços para que possam ser colocadas as ponteiros, a execução dos poços é feita por perfuratriz ou por circulação de água (figura 12), dependendo do solo os poços podem desmoronar, caso isso ocorra o mesmo terá que ser revestido. Feito isso a ponteira é colocada no solo e no nível do terreno o tubo é selado com argila compactada (figura 12), para que não possa ter entrada de ar. Segundo Alonso (2007, p. 87) “o espaçamento entre ponteiros é de cerca de 1 a 2 m” (figura 13).



**Figura 12:** Processo de instalação da ponteira.

Fonte: Alonso(2007).



**Figura 13:** Esquema de um sistema de rebaixamento com ponteiros filtrantes.

Fonte: Alonso(2007).



A conexão da ponteira filtrante com o tubo coletor é feita com um mangote flexível resistente e transparente (figura 14), que permite ver o funcionamento de cada ponteira.

De acordo com Caputo (1987, p. 220), “assim, admite-se como uma instalação normal aquela que produz um rebaixamento do nível d’água de 6 a 7 m de altura, podendo, no entanto, em condições particularmente cuidadosas, alcançar 8,50 a 9 m de altura”.

Complementando Grandis (1998, p.585), “em condições usuais de obras e para solos menos permeáveis (areias siltsosas, areias argilosas) consegue-se um rebaixamento de 4 a 5 m”.



**Figura 14:** Mangote de ligação da ponteira com o tubo coletor.

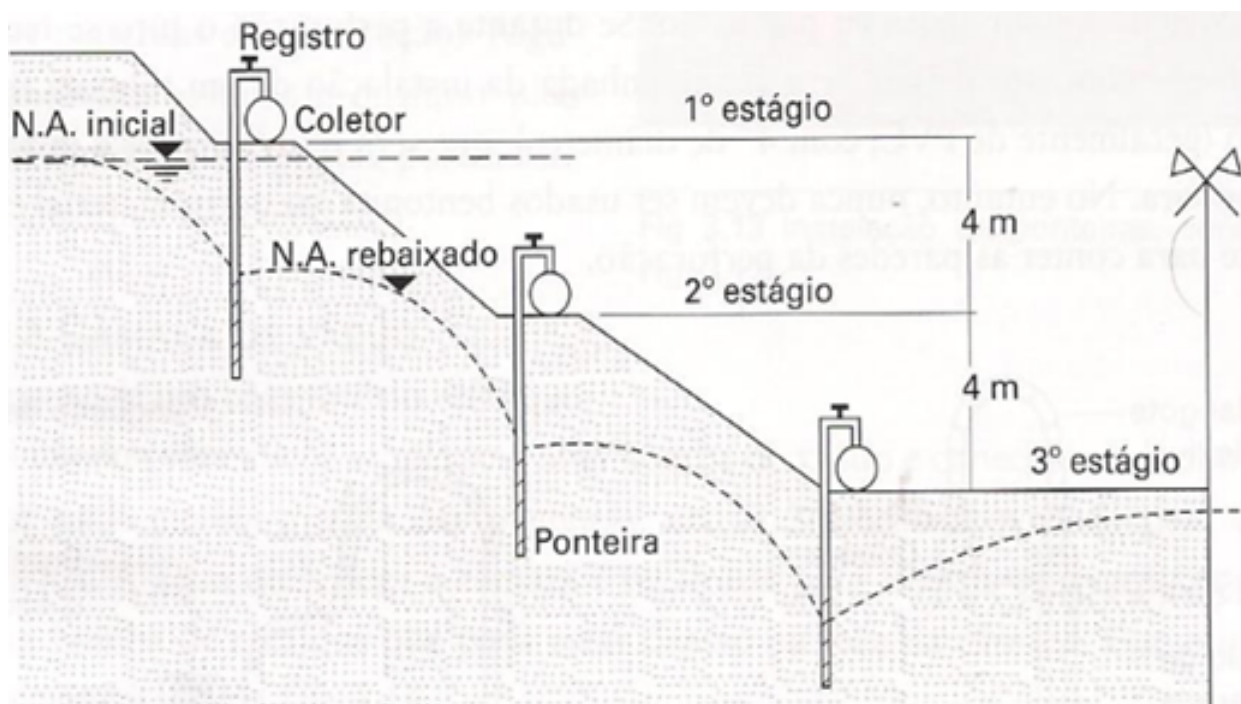
Fonte: Arquivo do Autor.

#### 2.1.2.5 Desvantagens

Apesar de ser um sistema barato em relação aos outros tipos de rebaixamento, esse sistema alcança baixas profundidades, limitando-se a alturas de 6 a 7 m como foi dito no item acima.

Segundo Caputo (1987, p. 220, grifo do autor).

Devido, então, à limitação da altura de aspiração, quando a água deve ser rebaixada além de 7 m abaixo do nível do coletor, procede-se em *dois estágios*: o segundo sendo realizado após a escavação dos 7 primeiros metros já enxutos (figura 15). Em geral, não é econômico ultrapassar dois estágios, preferindo-se, no caso de um lençol d’água muito profundo, o emprego de “bombas de profundidade”.



**Figura 15:** Exemplo de rebaixamento com três estágios de ponteiros.

Fonte: Alonso(2007).

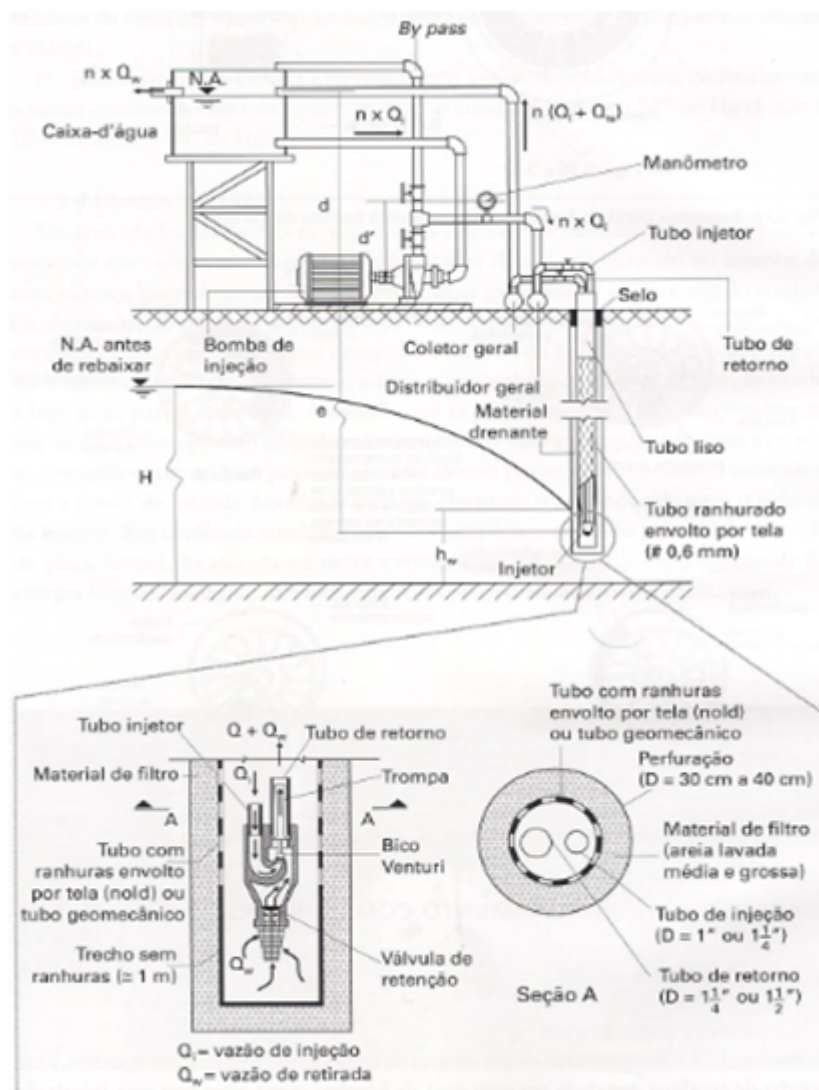
### 2.1.3 Sistema de poços profundos

Esse sistema supera os limites do método de rebaixamento de lençol freático por ponteiros filtrantes, chegando a profundidades acima de 100 metros. Existem dois métodos de execução, são eles: por sistema com injetores ou ejetores e sistema com bombas submersas.

#### 2.1.3.1 Sistema com injetores ou ejetores

Segundo Grandis (1998, p. 585) “Nesse sistema, os poços atingem profundidades de até 30 m, com diâmetros que variam de 20 a 30 cm e estão espaçados entre si de 4 a 10 m”.

Esse sistema funciona da seguinte forma, primeiro a água passa pelo tubo de injeção com alta pressão, durante sua passagem pelo injetor (figura 17) o mecanismo que simula um Venturi acelera o fluxo d’água que cria uma sucção no fundo do injetor, aspirando a água do poço enquanto volta por outra tubulação (tubo de retorno), subindo para a caixa d’água, onde que a água retirada do solo (água em excesso) é removida para fora da obra através de uma saída (ladrão), o nível de água da caixa é sempre constante, injetando-a novamente (figura 16). Sendo assim esse sistema trabalha como um circuito semi fechado, a figura 18 demonstra o sistema geral em operação com detalhe da instalação do tubo no poço.



**Figura 16:** Sistema de rebaixamento com injetores.

Fonte: Alonso(2007).

O injetor é instalado após a perfuração do poço, feita com equipamento apropriado, durante este processo se o poço apresentar instabilidade esse mesmo é revestido por um tubo de aço ou ferro galvanizado com 4 mm de espessura e 30 a 40 cm de diâmetro. Após esse procedimento é inserido um tubo de aço ou ferro galvanizado com diâmetro de 10 a 15 cm que funciona como uma ponteira filtrante. O tubo possui ranhuras e é envolvido por uma tela de nylon com malha de 0.6 mm, juntamente com centralizadores para que seu eixo fique idêntico ao da perfuração, na base do tubo aproximadamente 1 m não é ranhurado ou perfurado, prevendo a decantação de partículas de solo se houver carreamento, por falha da tela de nylon, conforme a figura 16.

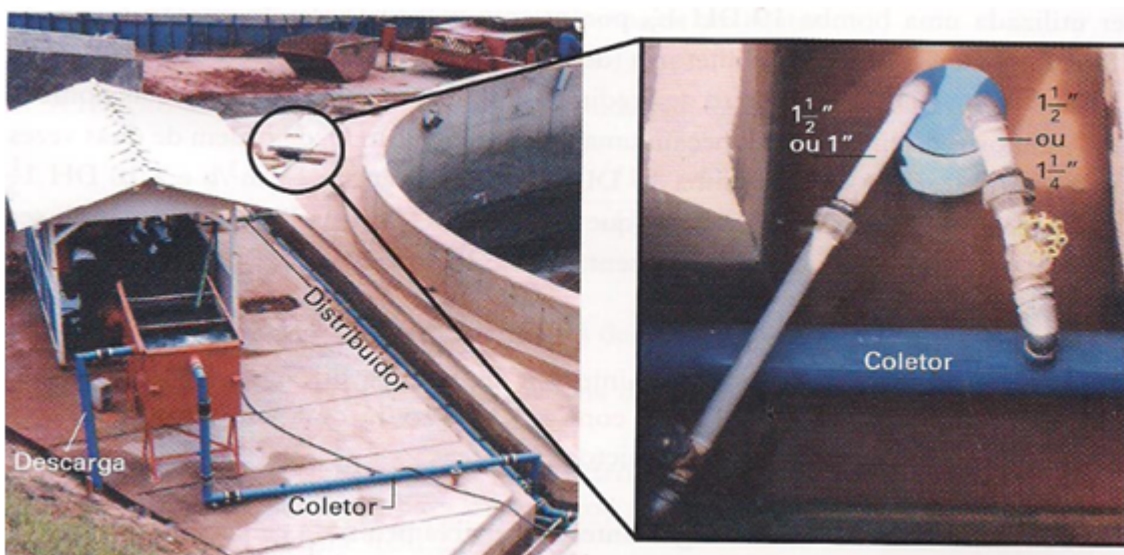
Em seguida o tubo de revestimento é retirado, e na medida em que o tubo esta saindo é preenchido por areia graduada, formando assim o pré-filtro, e juntamente ao pré-filtro é instalado um medidor de nível de água. Assim como no sistema de ponteiras filtrantes, no nível do terreno o tubo é selado com argila ou bentonita.



**Figura 17:** Detalhes do injetor.

Fonte: Alonso(2007).

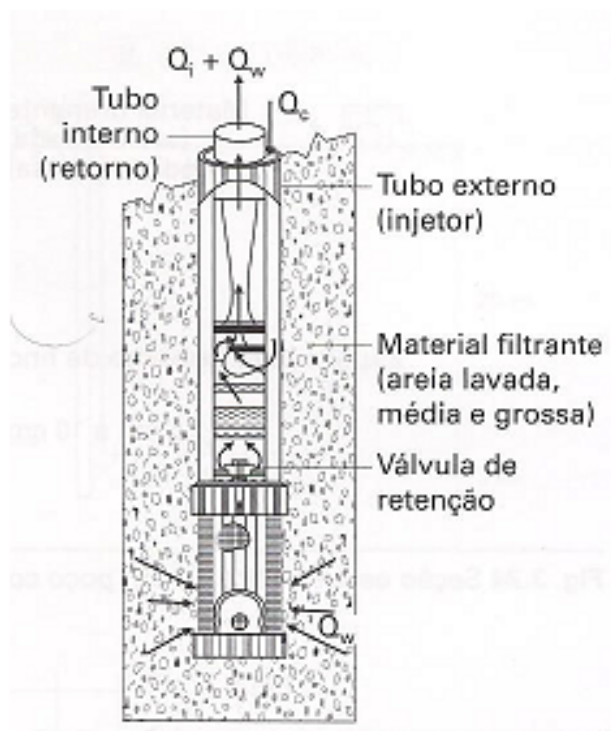
Segundo Grandis (1998, p. 585) “As pressões de injeção de água variam de 0,7 a 1,0 MPa e as pressões de retorno são da ordem de 10% desse valor. Como consequência, tem-se uma sucção na extremidade inferior do poço, promovendo a aspiração da água do lençol freático”.



**Figura 18:** Detalhes gerais de um sistema de rebaixamento por injetores.

Fonte: Alonso(2007).

A diferença entre injetores e ejetores é o tipo de tubulação utilizada, uma vez que o processo de funcionamento é o mesmo, os injetores possuem uma tubulação paralela, enquanto os ejetores utilizam de tubos concêntricos onde o tubo externo recebe a água da bomba e o interno faz a coleta como mostra a figura 19.



**Figura 19:** Seção esquemática de um tubo ejetor.  
Fonte: Alonso(2007).

Contudo os dois sistemas atendem satisfatoriamente até 30 metros de profundidade, sendo utilizadas bombas submersas para vencer maiores profundidades de rebaixamento.

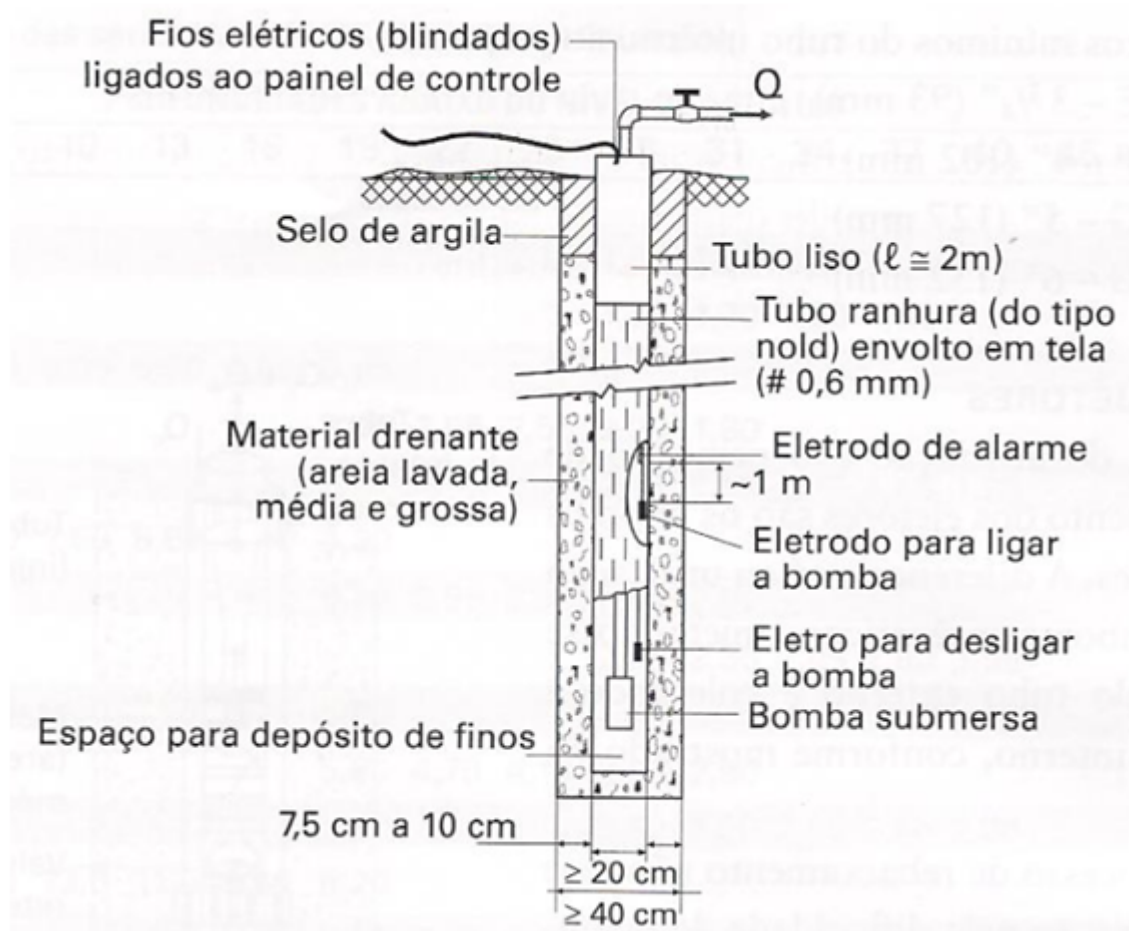
#### 2.1.3.2 Sistema com bombas submersas

Assim como no sistema de injetores, o sistema com bomba submersa é utilizado para rebaixamento de grandes profundidades, mas utilizado em aquíferos com o coeficiente de permeabilidade elevado, e como o próprio nome diz, trabalha com bombas submersas no fundo do poço.

As bombas utilizadas para esse sistema são as bombas centrifugas de vários estágios (determina-se o numero de rotores, em função da vazão e da altura a ser recalçada), podendo a água ser elevada a alturas de 100 m, com uma descarga de  $60 \text{ m}^3$  por hora ou mais dependendo do aquífero (CAPUTO, 1987).

Segundo Alonso (2007, p. 99) “As bombas disponíveis no mercado necessitam de tubo-filtro com diâmetro interno da ordem de 20 cm; por isso, recomenda-se poços com cerca de 40 cm de diâmetro”.

Junto á bomba são colocados dois eletrodos sensoriais (figura 20), um superior e outro inferior, fazendo com que a bomba desative quando a água chega ao eletrodo inferior, e reativa no momento em que a água chega ao eletrodo superior, evitando assim, que a bomba trabalhe a seco.



**Figura 20:** Seção esquemática de um poço com bombas submersa.

Fonte: Alonso(2007).

O método de instalação deste sistema é análogo ao dos injetores, contudo a dificuldade em furar o poço de 40 cm de diâmetro nesse tipo de solo, é que o mesmo tem baixa coesão e o furo passa por varias camadas permeáveis, gerando uma dificuldade em deixar o poço estável, onde tende a fechar. Na maioria das vezes para resolver tal problema, são utilizados aditivos mais pesados ou viscosos, sendo excluída a possibilidade de uso da lama betonítica, uma vez que torna o poço impermeável e é de difícil remoção.

Segundo Grandis (1998, p. 587, grifo do autor) existem dois processos para enfrentar o problema de perfuração dos poços:

- a) *Perfuração Revestida*: necessita de equipamentos muito pesados para aplicar grandes torques no revestimento de perfuração, resultando em custos extremamente elevados.
- b) *Perfuração com Emprego de Circulação Reversa*: esta é uma maneira bastante engenhosa de superar parcialmente o problema; ao invés de injetar-se água através da haste de perfuração, aspira-se a mesma, mediante emprego de uma bomba de vácuo ou de um sistema de “air lift” acoplado a perfuratriz. A água mais o solo desintegrado pela ferramenta de perfuração são succionados para uma caixa de sedimentação e o fluido é a seguir recirculado no furo. Em geral consegue-se a estabilidade mantendo-se um nível d’água no furo de 2 a 3 m

acima do nível d'água do terreno. Como este fluido tem uma certa parcela de partículas argilo-siltosas e a velocidade de recirculação é muito baixa consegue-se, quase sempre, um furo razoavelmente estável para diâmetros de até 60 cm ou mais. A menor ou maior eficiência desse poço dependerá da possibilidade de se lavar estas partículas durante seu processo de limpeza.

A desvantagem desse sistema é o custo elevado inicial em bombas de eixo vertical, fios, botões, etc.

### 2.1.4 Drenos

A drenagem subterrânea emprega basicamente dois tipos de drenos, abertos e fechados (tubulares). Os drenos abertos são valetas com seção transversal no formato de um trapézio, com paredes inclinadas afim de evitar o desmoronamento do mesmo. Quando os drenos são fechados na maioria de vezes são enterrados, abre-se uma valeta com largura equivalente a três vezes o diâmetro do tubo, para que o tubo possa ser envolvido com britas e outros materiais.

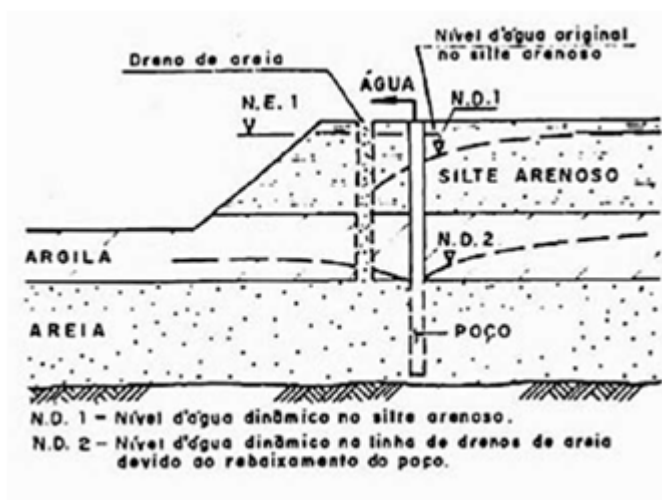
A seguir serão tipificados alguns tipos de dreno para o rebaixamento de lençol freático.

#### 2.1.4.1 Drenos de alívio

Como o próprio nome já diz, o dreno de alívio tem como objetivo aliviar a pressão da água no solo (figura 21).

Segundo Dobereiner e Vaz (1998), citado por Müller (2004, p. 46) “os drenos de alívio em rochas são constituídos através de perfurações executadas com o emprego de equipamentos de rotorpercurção, com diâmetros apropriados, normalmente na ordem de 75 milímetros”.

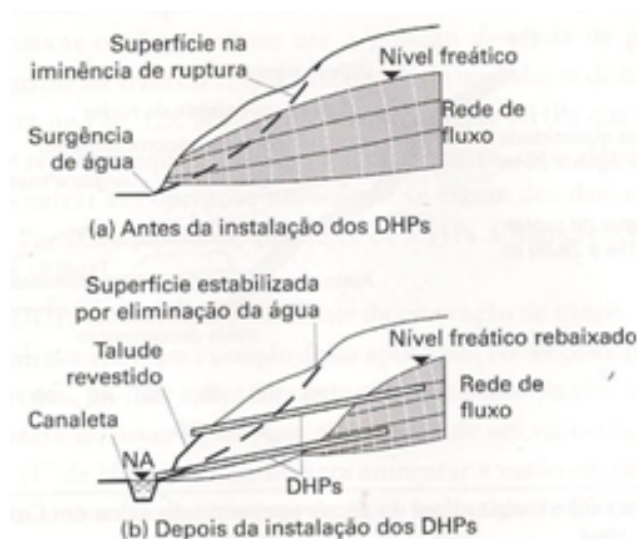
Tal método utiliza britas graduadas para evitar o carreamento de partículas, dispensando assim o uso de filtros.



**Figura 21:** Dreno vertical de conexão (alívio).  
Fonte: Grandis (1998).

### 2.1.4.2 Drenos horizontais profundos (DHP)

O dreno horizontal profundo é utilizado em taludes para retirar a água existente no solo e manter a estabilidade do mesmo (figura 22). O dreno é instalado com uma inclinação de 5° a 10° graus paralelo ao talude, para que a água desça por gravidade.



**Figura 22:** Estabilização de um talude com drenos horizontais profundos (DHP).

Fonte: Alonso (2007).

Segundo Grandis (1998, p. 588) “As perfurações tem diâmetro de 5,08 a 10,16 cm (2” a 4”) e são em geral revestidas”.

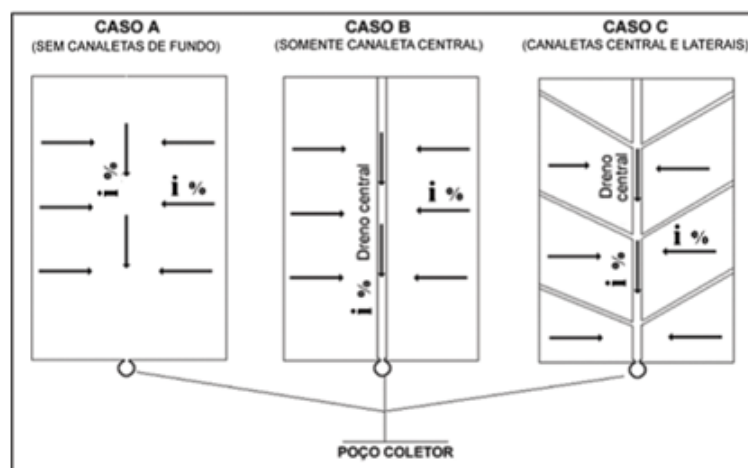
A profundidade desse sistema varia de 10 m a 20 m, tendo certo cuidado apenas para que não faça mais de dois furos por seção, evitando assim a diminuição excessiva da resistência do mesmo.

Ainda fomenta Grandis (1998, p.588) que “o diâmetro do tubo do dreno varia entre 2,51 cm e 5,00 cm (1” e 2”), o que limita a quantidade de água a ser drenada por ponto.[...]Os furos no tubo têm de 5 a 10 mm”.

### 2.1.4.3 Trincheira drenante

É um método simples e quase sempre é executado de maneira artesanal. Este método utiliza de valas (profundidade pode variar de 1 a 2 metros) secundárias preenchidas por areia ou brita, geralmente envolta em uma manta filtrante, essas valas são conectadas a uma vala principal que recebe os mesmos materiais em seu interior, e tem a função de encaminhar a água para os poços, onde a água é armazenada (figura 23). Geralmente este sistema tem uma disposição tipo espinha de peixe e a água coletada no poço é removida para fora da escavação através de bombas, cujo dimensionamento quase sempre é feito por experiência.





**Figura 23:** Esquemas de trincheiras drenantes.  
Fonte: Alonso (2007).

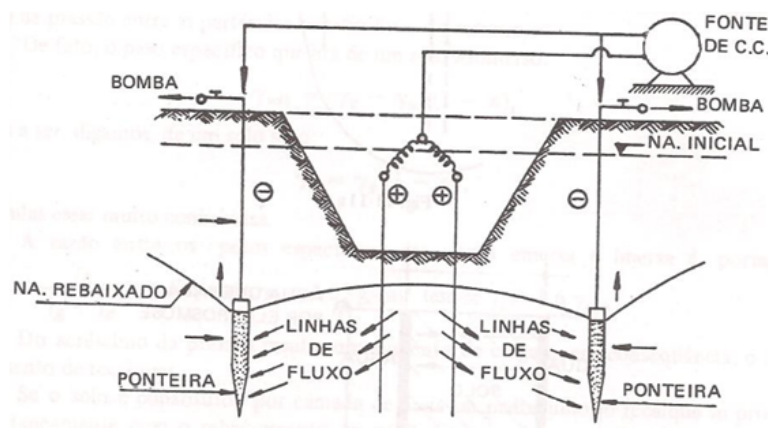
### 2.1.5 Eletrosmose

A eletrosmose é compreendida pelo método de atrair o fluxo d'água para um determinado ponto (ponteiras), utilizando um gerador de corrente contínua, assim polarizando as partículas d'água que por sua vez são atraídas para o sentido da carga oposta.

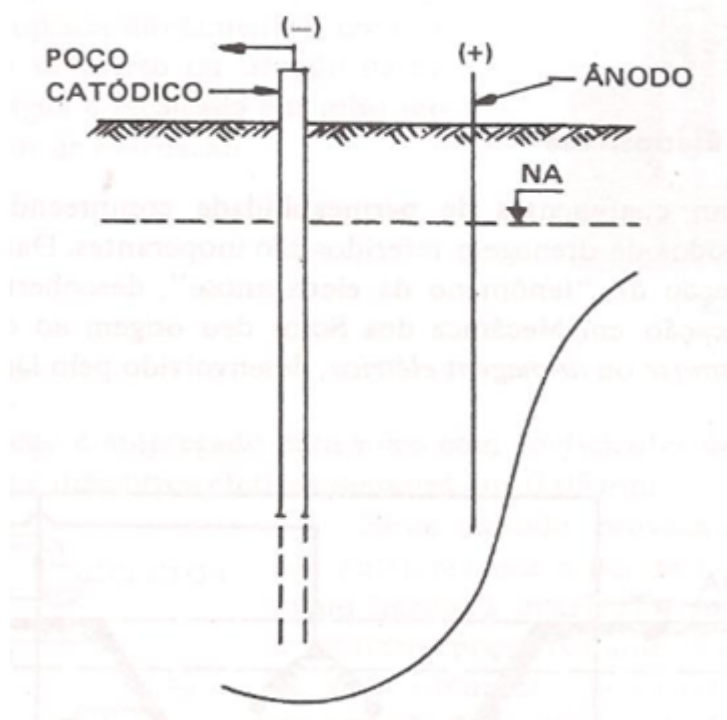
Segundo Caputo (2007, p. 231, grifo do autor).

Para solos com coeficientes de permeabilidade compreendidos entre  $10^{-5}$  e  $10^{-7}$  cm/seg, os métodos de drenagem referidos são inoperantes. Daí o interesse que vem despertando a aplicação do “fenômeno da eletrosmose”, descoberto pelo Prof. Reuss, em 1808. Esta aplicação em Mecânica dos Solos deu origem ao chamado método de *drenagem por eletrosmose* ou *drenagem elétrica*, desenvolvido pelo Dr. Leo Casagrande.

Como ilustrado nas figuras 24 e 25, instalados em um solo saturado, dois eletrodos, após a passagem de uma corrente elétrica contínua entre ambos, a água contida nos vazios percolará no sentido do ânodo (polo positivo) para o cátodo (polo negativo), daí sendo coletada e esgotada por meio de bomba.



**Figura 24:** Esquema de drenagem por eletrosmose.  
Fonte: Caputo (2007).

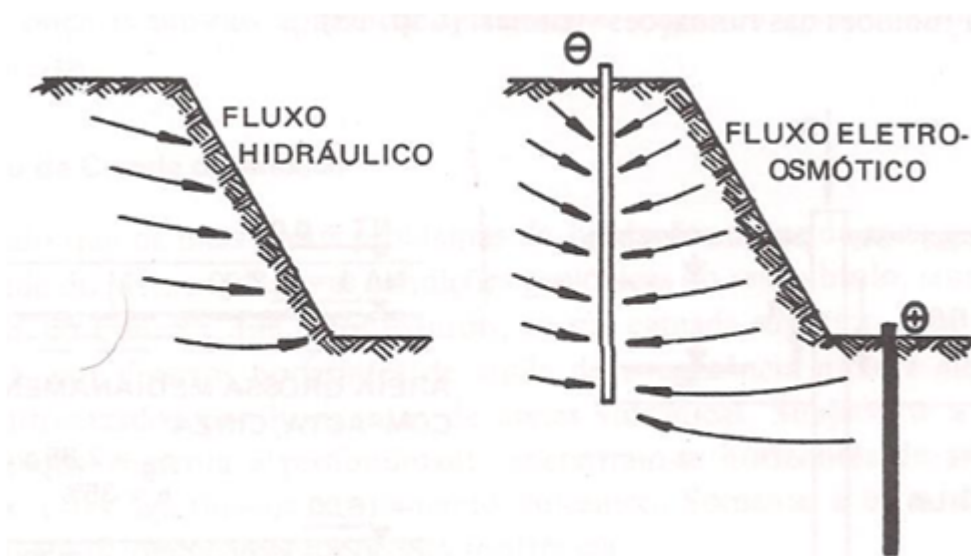


**Figura 25:** Esquema de eletrodos.

Fonte: Caputo (2007).

Ainda complementa Caputo (2007, p. 233, grifo do autor).

Observe-se as ponteiros (cátodos), sendo colocadas perifericamente à escavação (figura 26), o uso do método inverterá o sentido das linhas de fluxo e consequentemente as *forças de percolação*, ao contrário do que normalmente ocorre, passarão a ser favoráveis à estabilidade do talude.



**Figura 26:** Utilização da eletrosmose na inversão do fluxo de percolação.

Fonte: Caputo (2007).

### 2.1.6 Galeria de Drenagem

Esse sistema é utilizado quando os demais citados acima são inviáveis ou não são eficazes para rebaixar o volume de água previsto.

Segundo Dobereiner e Vaz (1998), citado por Müller (2002, p. 49) “as galerias de drenagem são executadas em maciços de rocha ou solo com diâmetro inferior a 3 metros”.

A galeria de drenagem pode ser revestida ou não. Quando não é revestida, a drenagem é feita pela parede do mesmo; quando é revestida, são feitos drenos de alívio ou o dreno horizontal profundo.

Esse método não é muito utilizado no Brasil, devido ao elevado custo.

## 2.2 ESCOLHA DO SISTEMA DE REBAIXAMENTO APROPRIADO

### 2.2.1 Conhecimento do Subsolo

Para efetuar o rebaixamento de lençol freático, é necessário conhecer o solo que está submetido a tal proposta. A granulometria do mesmo é proporcional a permeabilidade, assim Caputo (2007, pag. 25) afirma que de acordo com a escala granulométrica brasileira (ABNT), a classificação granulométrica dos solos se inicia a partir dos pedregulhos tendo diâmetro entre 76 a 4,8 mm, seguido da areia com diâmetro entre 4,8 a 0,05 mm, logo após os solos siltosos entre 0,05 e 0,005 e as argilas inferiores a 0,005 mm.

Segundo Grandis (1998, p. 588) “Deve-se também tipificar claramente as camadas como “permeáveis” e “impermeáveis”, definindo barreiras ou obstáculos ao fluxo d’água, bem como caminhos preferenciais de percolação”.

É necessário saber também o coeficiente de permeabilidade do solo, fazendo experiências tanto em laboratórios, como em campo.

A tabela (figura 27) apresenta valores médios de permeabilidade de alguns tipos de solo em centímetros por segundo, apenas para ordem de grandeza:

Solo	(cm/seg)
areia siltosa	$2 \times 10^{-3}$
areia muito fina	$5 \times 10^{-3}$ a $2 \times 10^{-2}$
areia fina a média	$5 \times 10^{-2}$ a $10^{-1}$
areia média	$10^{-1}$
areia média a grossa	$2 \times 10^{-1}$
areia grossa com pedregulhos	$5 \times 10^{-1}$

**Figura 27:** Tabela dos tipos de solo X coeficiente de permeabilidade.  
Fonte: Grandis (1998).

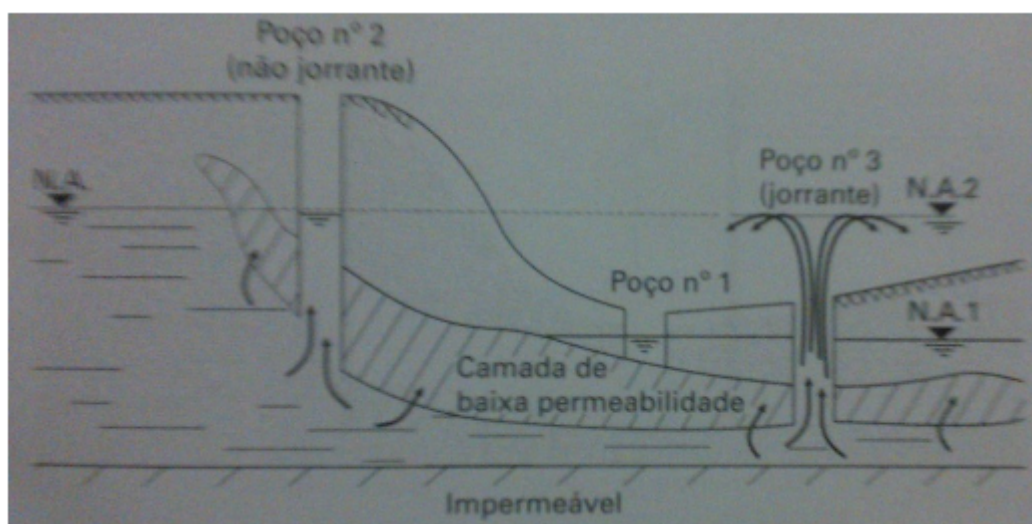
## 2.2.2 Medidores Piezométricos e Freáticos

É importante a instalação de medidores piezométricos e freáticos, para que tenha um controle da variação do nível de água, podendo ser comparada com a que foi prevista no projeto.

Segundo Alonso (2007, p. 19, grifo do autor), a definição do tipo de medidor quanto a freático ou piezométrico acontecem através do conhecimento do tipo aquífero:

No caso do aquífero livre empoleirado, o fluxo de água se dá no sentido da gravidade, ou seja, de cima para baixo; no aquífero artesiano, esse fluxo ocorre de baixo para cima. O nível de água atingido em um poço artesiano (N.A. 2 dos poços 2 e 3, da figura 28) define o *nível piezométrico*, enquanto o nível da água N.A. 1, do poço 1 da mesma figura, cujo o fundo não ultrapassou a camada impermeável, e, portanto, situa-se em um aquífero livre, defini o nível freático.

Segundo Alonso (2007, p. 79) “Esse acompanhamento do rebaixamento também deve incluir a medida das vazões, para compará-las com as previstas”.



**Figura 28:** Perfil mostrando a influência do solo na caracterização de medidores freático e piezométrico.

Fonte: Alonso (2007).

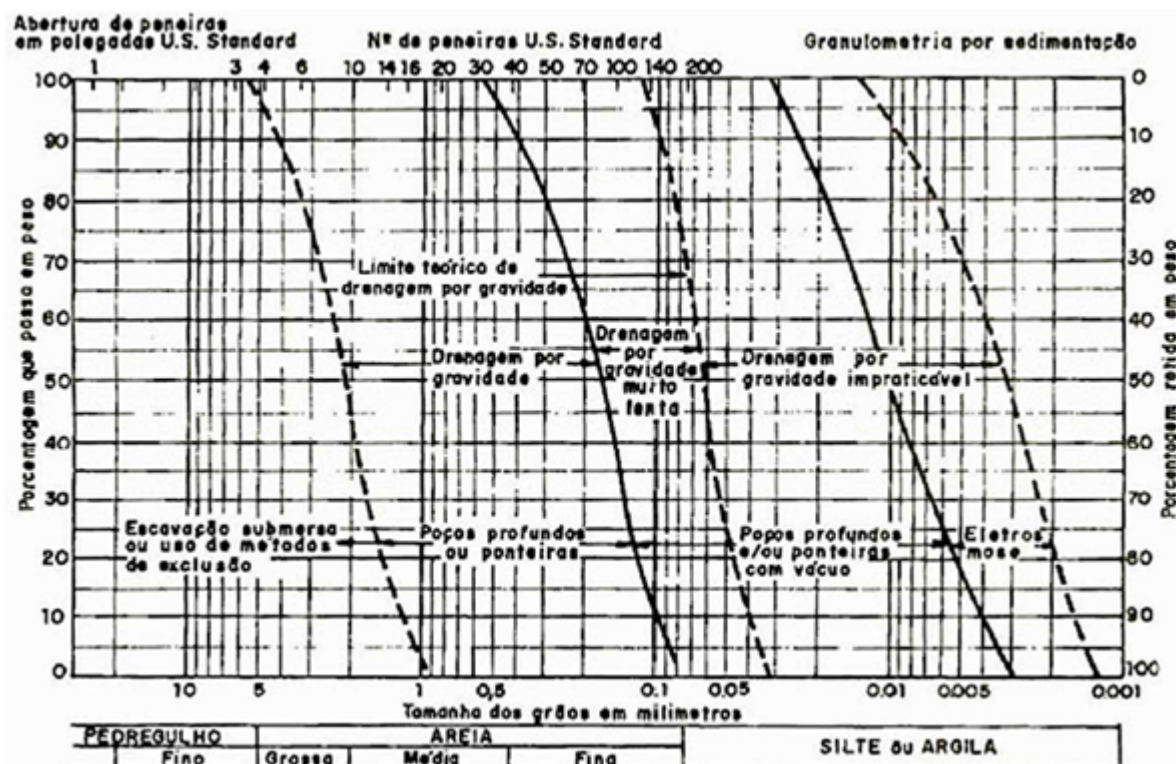
## 2.2.3 Tipo de Obra

Para qualquer obra é necessário o conhecimento dos níveis de água do solo, do projeto em planta (dimensões) e ter o entendimento sobre o rebaixamento.

Segundo Grandis (1998, p. 584).

Para escavações rasas e rebaixamento de até 5 – 6 m do lençol d’água deve-se adotar um sistema convencional de ponteiros filtrantes. Para rebaixamentos maiores, em locais exíguos, deve-se prever um sistema de poços profundos através de bombas submersas (para grandes volumes d’água) ou de injetores (para volumes menores).

A tabela (figura 29) demonstra de forma resumida a aplicabilidade geral dos sistemas de rebaixamento do lençol freático.



**Figura 29:** Aplicabilidade geral dos sistemas de rebaixamento.

Fonte: Grandis (1998).

Todavia o tipo de obra também determina a duração do rebaixamento, sendo ele permanente ou temporário. Quando adotado o temporário se espera que ao fim das obras o retorno do N.A. para o nível original, não afete a construção nem cause efeitos indesejados, um exemplo para essa prática é o rebaixamento para construção de estruturas abaixo do N.A.. Já quando permanente, há necessidade de que o N.A. se mantenha no nível rebaixado, um exemplo para essa prática é a construção de pavimentos subterrâneos que estejam abaixo do N.A.. Essa prática pode ocasionar em patologias futuras a obras que estão dentro do raio de alcance do rebaixamento.

## 2.3 TIPOS DE BOMBAS UTILIZADOS

### 2.3.1 Bomba Centrífuga

Bomba centrífuga é o equipamento mais utilizado para bombear líquidos, pressurizando e transferindo o líquido de um local para outro. É utilizada para bombear até 3.600 litros por hora, ou seja, para bombeamentos de pequeno porte, é caracterizada pelo recalque de pequenas vazões e grandes alturas.

Para que a bomba centrífuga (figura 30) funcione necessita-se de: uma fonte externa à bomba, geralmente um motor elétrico, que faz girar um ou mais rotores dentro do corpo da bomba, movimentando o líquido e criando a força centrífuga, em seguida essa força centrífuga se transforma em energia de pressão e cinética. A diferença de pressão no recalque e na sucção da bomba é conhecida como AMT (altura manométrica total) e determina a capacidade da bomba em transferir o líquido.



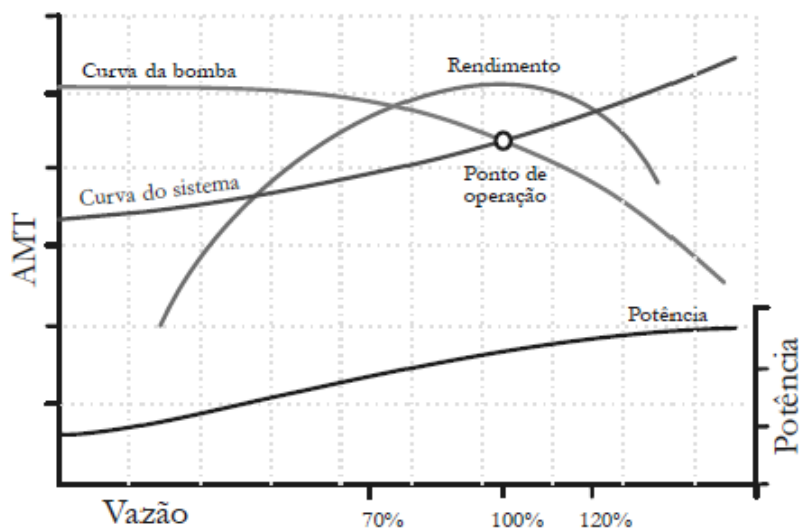
**Figura 30:** Vista de corte da bomba centrífuga.

Fonte: [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br).

A bomba centrífuga deve trabalhar com a vazão disponível maior que a vazão requerida, segundo Grandis (1998, p. 590) “Caso essa condição não ocorra, acontece a cavitação do sistema que se constitui na vaporização da água, com conseqüente formação de pequenas bolhas de vapor”.

Quando essas bolhas de vapor entram em contato com as pás do rotor que esta em alta velocidade, acontece um fenômeno conhecido como implosão, em virtude disso, acontece a cavitação, fazendo com que as pás do rotor se desgastem rapidamente, tornado-a ineficaz.

Após determinar a vazão e a AMT, é feita a escolha de uma bomba através das curvas características que são dadas por meio da potência absorvida com o rendimento, vazão recalçada, AMT e, as vezes, com a altura máxima de sucção. De modo geral, as curvas características têm o aspecto apresentado na figura 31. O ponto de operação é definido pelo encontro da curva vazão com a curva da altura manométrica total e do sistema.



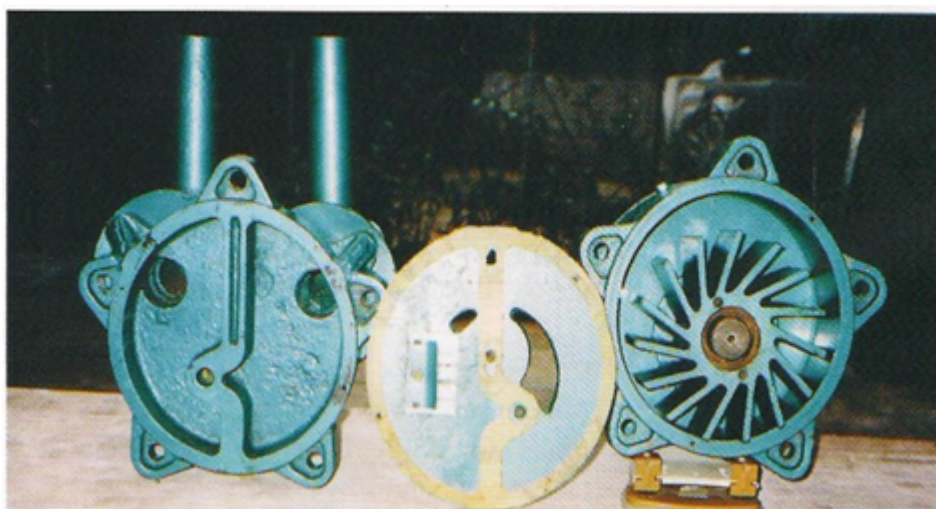
**Figura 31:** Curvas característica de uma bomba centrífuga.

Fonte: [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br).

### 2.3.2 Bomba de Vácuo

Bomba de vácuo é um aparelho destinado à produção de vácuo ou à redução adicional da pressão de um vácuo já existente. As bombas de vácuo mais utilizadas constituem-se de câmaras distribuídas num rotor, posicionado ao centro, girando no interior de uma carcaça ou corpo (figura 32), preenchida com água. A água gira no interior da bomba sob a ação da força centrífuga, agindo como um impulsor e comprimindo o ar. Além disso, a água funciona como um vedante para que interrompa a saída de ar para a atmosfera.

Segundo Alonso (2007, p. 90) “À medida que as pás do rotor (as que estão totalmente imersas) giram, no sentido daquelas com somente as pontas imersas, um vazío é criado na cavidade entre as duas pás consecutivas”.



**Figura 32:** Vista de um rotor de bomba de vácuo desmontado.

Fonte: Alonso (2007).

Essa cavidade faz com que o ar seja induzido para o interior da bomba, em virtude disso, o ar é expelido pela saída lateral, localizada na outra extremidade.

### 2.3.3 Bomba Fundo de Poço (Sapo)

Como o próprio nome já diz, a bomba fundo de poço é a mais adequada para trabalhar submersa. Deve ser instalada dentro da lâmina de água e distantes de paredes e fundo do poço para que tenha maior rendimento, requer pouquíssima manutenção quando bem especificada e corretamente instalada.

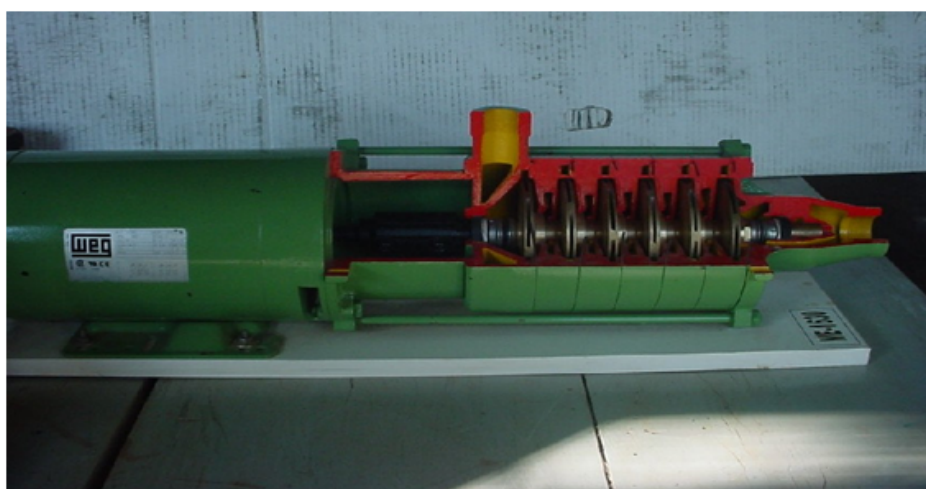
É utilizada para bombear mais de 3.000 litros por hora, ou seja, para bombeamentos de vazões de médio e grande porte, e requer uma alimentação de energia elétrica trifásica para o seu funcionamento. Em cada poço, é feito um sistema de liga e desliga de uso frequente e de fácil acesso para a bomba.

### 2.3.4 Bomba de Eixo Vertical

As bombas verticais de eixo prolongado, podem ser do tipo turbina (com um ou mais estágios) com rotores semi-axiais ou do tipo centrífuga vertical (com rotor fechado, tubular ou aberto) (figura 33). São apropriadas para estações de abastecimento de água, instalações de irrigação, captação de água, poços artesianos, drenagem em usinas hidroelétricas, instalações de combate a incêndio em plataformas marítimas e diversas outras aplicações.

Segundo Grandis (1998, p. 591) “De posse dos dados de rebaixamento, a saber, vazão e carga dinâmica (ou altura total de recalque, inclusive perdas de cargas), o projetista seleciona a bomba”.

Esse tipo de bomba geralmente tem uma vazão de até 13.000 litros/h, com capacidade de altura manométrica de até 80 m.c.a (por estágio) e suporta uma temperatura de 0°C a 90°C .



**Figura 33:** Vista do corte da bomba de eixo vertical de vários estágios.  
Fonte: [www.ebah.com.br](http://www.ebah.com.br).



## 2.4 PATOLOGIAS DECORRENTES DO REBAIXAMENTO

Para qualquer tipo de sistema de rebaixamento de lençol freático utilizado, o mesmo sofre uma diminuição das pressões neutras do solo devido à retirada de água e, em virtude disso, um aumento nas pressões efetivas causando muitas vezes recalques nas estruturas situadas no raio de influência do rebaixamento, recalques que acontecem devido ao adensamento do solo após a saída de água. Estes recalques tornam-se mais intensos principalmente se as estruturas estiverem sobre solos do tipo argilas moles ou areia fofa.

Segundo Caputo (2007, p. 233) “Se o solo é constituído por camada de areia ou pedregulho, o recalque se produz simultaneamente com o rebaixamento do nível d’água e é, em geral, de pouca importância”.

Essas implicações podem ser caracterizadas como a redução da umidade nos terrenos circunvizinhos, o aparecimento de crateras nas ruas, ou rachaduras em piscinas ou espelhos d’águas, causados pela diminuição da pressão neutra do subsolo, além do aparecimento de recalques, dentre outras patologias.

“Observa-se, ainda, que a sobrecarga decorrente do rebaixamento do N.A., provocando o adensamento da camada compressível, poderá gerar “atrito negativo” nas estacas ou tubulões das fundações vizinhas” (CAPUTO, 2007, p. 234).

Para verificar se há possibilidade de recalques, provenientes do rebaixamento de lençol freático, o engenheiro deve inicialmente conhecer as diferentes camadas, espessuras, distribuição e comportamento dos diversos solos afetados pelo provável ou possível rebaixamento de lençol freático. Estas circunstâncias devem ser consideradas no projeto de rebaixamento do lençol, raras vezes efetuadas pelos responsáveis. A quantidade de água retirada do subsolo e não repostas pelo homem ou pela natureza (infiltração das águas de chuvas) criará um déficit hídrico deprimindo o lençol freático, com aumento da predisposição para o efeito de recalques.

Para evitar recalques, a realização do projeto de subsolos e das fundações deve ser feita com uma cuidadosa investigação geológico-geotécnica da área. É necessário uma avaliação técnica das condições em que se encontram os imóveis da vizinhança, procurando-se conhecer o histórico da área, em termos de patologias e ocorrências de obras. Simulações dos eventuais efeitos da execução das escavações e fundações também podem contribuir para a escolha da melhor alternativa para o projeto.

As consequências devido ao rebaixamento atingem as áreas circunvizinhas ao terreno em que vai ser construída a fundação da construção, principalmente se forem em áreas litorâneas. Os problemas mais comuns que acontecem devido ao rebaixamento é o aparecimento de trincas nas residências vizinhas e o afundamento dos pisos, devido ao fenômeno de subsidência. Este fenômeno ocorre devido à compactação de camadas subjacentes porosas, provenientes da extração de águas em quantidade superior à recarga do aquífero.

### 3 ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso foi desenvolvido através do acompanhamento do processo de rebaixamento do freático utilizado na construção da Estação Elevatória de Esgoto nº 3 ou Estação Elevatória Bruta - Final.

As informações necessárias para a confecção do mesmo foram adquiridas por meio de visitas técnicas, reuniões e documentos apresentados ao longo deste.

#### 3.1 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO Nº 3 (EEE)

Localizada próximo ao Bairro Nossa Senhora das Graças, na cidade de Caratinga/MG, o empreendimento situa-se às margens da rodovia BR-116 em frente a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Trata-se da última elevatória do trecho de canalização do esgoto, e sua função é recalcar o mesmo para a ETE. A EEE (Estação Elevatória de Esgoto) terá uma área construída aproximada de 200 m<sup>2</sup>.

A obra em estudo não possui edificações vizinhas como mostra a figura 34.



**Figura 34:** Vista aérea da Estação Elevatória de Esgoto nº3 (ainda em construção).

Fonte: Arquivo do Autor.

##### 3.1.1 Rebaixamento de lençol freático

Durante o processo de execução da EEE surgiu a necessidade de escavação para a construção da parte que recebe o efluente.

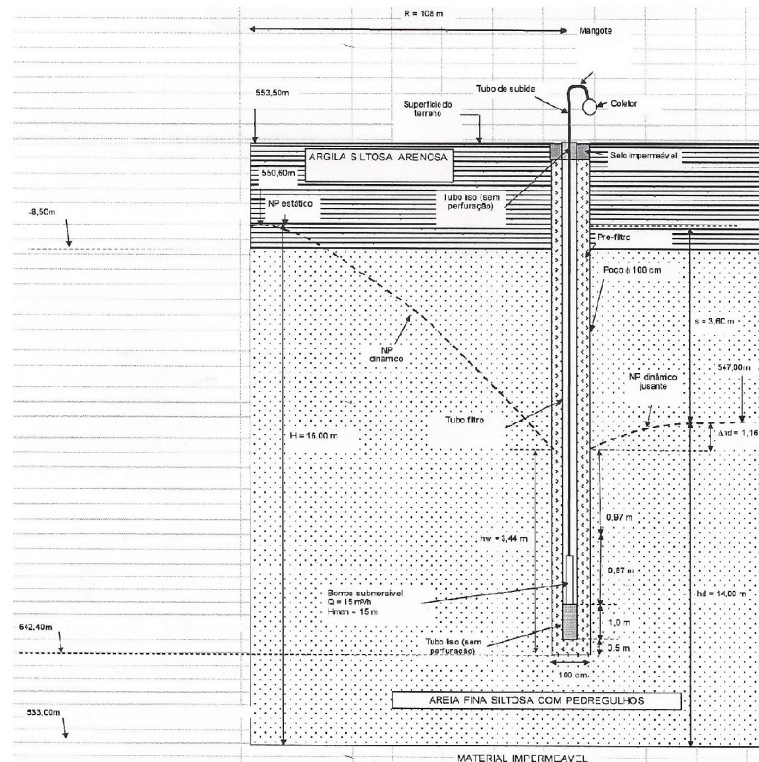
Com o desnível de 5 metros da cota do terreno, a escavação apresentou problemas durante sua execução. O N.A. elevado por influência do curso d'água que passa nas proximidades (figura 35) trouxe a necessidade da implantação de um processo de rebaixamento para estabilizar o fundo da vala e posteriormente viabilizar a execução da fundação.



**Figura 35:** Nível d'água exposto após a escavação.

Fonte: Arquivo do Autor.

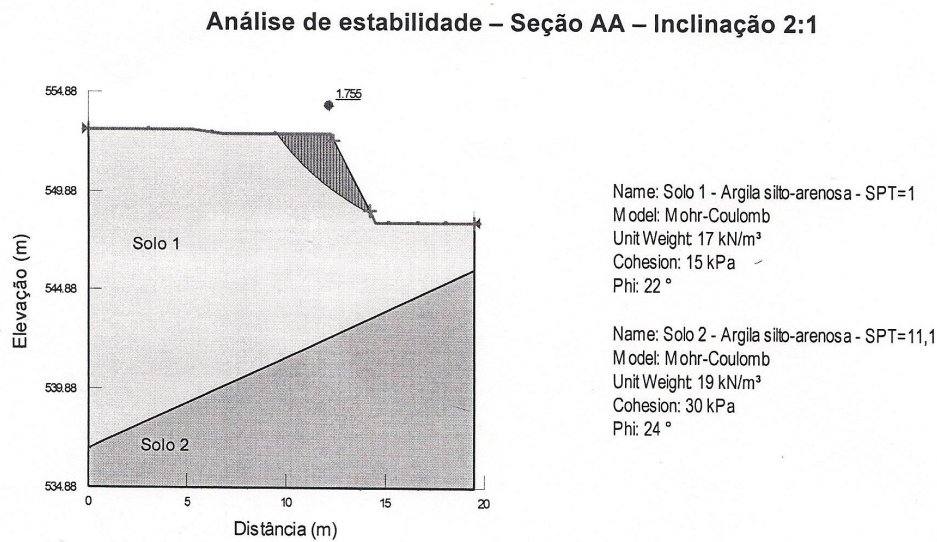
De acordo com o relatório de sondagem que foi executada em 14 de novembro de 2014, pela empresa Minas Solos Sondagens Ltda, foi previsto a presença de água quando a cota de escavação atingisse 2,9 m de profundidade como mostra a figura 36.



**Figura 36:** Corte do projeto de rebaixamento provisório do N.A.

Fonte: Projeto geotécnico da EEB-Final.

Para a escolha do sistema de rebaixamento, a empresa utilizou de um método de sondagem mista onde foram obtidos dados para a confecção do perfil do solo, a determinação do nível d'água e a análise de estabilidade (figura 37).



**Figura 37:** Perfil do solo em estudo.  
Fonte: Projeto geotécnico da EEB-Final.

O sistema utilizado foi o de ponteiros filtrantes, e sua escolha foi feita através da necessidade de ser um rebaixamento temporário, localizado e o tipo do solo ser favorável.

A operação possuiu 20 ponteiros filtrantes produzidas com tubo de PVC ranhuradas (figura 38) com diâmetro de 40 mm e comprimento de 0.5 metros, foram distribuídas pelo perímetro da escavação e o espaçamento variando entre 1,5 a 2 metros (figura 39).



**Figura 38:** Ponteira de PVC ranhurada.  
Fonte: Arquivo do Autor.



**Figura 39:** Espaçamento das ponteiras.

Fonte: Arquivo do Autor.

A ligação das ponteiras ao sistema de vácuo foi feita através de mangueiras (figura 40). O tubo coletor tem diâmetro de 4” e é feito com tubo de ferro (figura 41).



**Figura 40:** Mangueira de ligação entre a ponteira e o tubo coletor.

Fonte: Arquivo do Autor.



**Figura 41:** Tubo coletor 4” de ferro.

Fonte: Arquivo do Autor.

Foram utilizados dois conjuntos de bombas para a sucção (figura 42), e a água proveniente foi dispensada próxima ao curso do rio (figura 43).



**Figura 42:** Instalação da bomba de vácuo.

Fonte: Arquivo do Autor.



**Figura 43:** Tubulação de recalque e descarga.

Fonte: Arquivo do Autor.

As ponteiros receberam uma malha de nylon  $\phi 0,60\text{mm}$  (figura 44) para evitar o carregamento de partículas do solo durante o processo.



**Figura 44:** Tela de nylon  $\phi 0,60\text{mm}$ .

Fonte: Arquivo do Autor.

As duas bombas produziram uma vazão média de  $0,20 \text{ m}^3/\text{min}$ , o rebaixamento aconteceu em um período de 36 dias e o regime de trabalho do sistema foi de 24 horas/dia, alcançando o rebaixamento de cerca de 4,5 metros de profundidade.

Por ter sido executado em uma escala pequena o rebaixamento não apresentou efeitos indesejados e obteve total êxito.

### 3.1.2 Análise Crítica

Durante o acompanhamento deste caso, notou-se que para a empresa executora do projeto, foi feita a escolha do método de rebaixamento seguindo os seguintes parâmetros: o conhecimento do N.A.; a existência de um solo impermeável não muito profundo; um rebaixamento provisório; o tipo de fundação a ser executada e a cota do fundo da escavação.

Como o projeto previa a necessidade de rebaixamento, as escavações foram feitas até o nível desejado, porém, quando o equipamento que estava fazendo a remoção de solo (figura 45) atingiu a cota final de escavação, notou-se que o solo naquele local apresentava o N.A. elevado, consistência e aspectos indesejados, mostrando-se instável e impossibilitando o bom desempenho da perfuratriz de hélice contínua que foi utilizada para executar as estacas de fundação. Portanto surgiu a necessidade do rebaixamento e estabilização do solo da vala.



**Figura 45:** Escavadeira hidraulica durante a escavação da vala.

Fonte: Arquivo do Autor.

Com o auxílio de uma sondagem mista, foram feitos furos no solo com a utilização de um trado, onde amostras deformadas foram extraídas. A caracterização do material foi feita em um laboratório, utilizando o método Mohr-Coulomb para a definição da mesma, traçando o perfil geológico do local.



De posse dessas informações o engenheiro encarregado pela execução optou utilizar o sistema de ponteiras filtrantes com base nos dados fornecido pelo projeto de dimensionamento de rebaixamento (Anexo A).

As ponteiras foram cravadas através do método que utiliza uma bomba de alta pressão e um tubo perfurante para a abertura dos poços (figura 46). Após introduzidas as ponteiras o poço é selado com uma camada de argila existente nas proximidades (figura 47).



**Figura 46:** Reservatório e bomba de alta pressão.

Fonte: Arquivo do Autor.



**Figura 47:** Tubo selado com argila.

Fonte: Arquivo do Autor.

O rebaixamento aconteceu com uma vazão média de  $12 \text{ m}^3/\text{hora}$ , o solo demorou cerca de 12 dias para alcançar a estabilidade desejada, suportando o peso do equipamento (figura 48).



**Figura 48:** Equipamento de perfuração de hélice contínua.  
Fonte: Arquivo do Autor.

Após a execução das estacas (figura 49) o sistema de drenagem permaneceu ligado até que fosse concluída a parte inferior da elevatória, totalizando 36 dias de funcionamento (figura 50).



**Figura 49:** Fundo da vala após a execução das estacas.  
Fonte: Arquivo do Autor.



**Figura 50:** Execução da parte inferior da elevatória.  
Fonte: Arquivo do Autor.

Durante este período estima a remoção de um volume de  $10.368,6 m^3$  de água.

O processo foi executado como mostrado na subseção 2.1.2.4, e teve algumas peculiaridades quanto ao espaçamento e profundidade média das ponteiras, que ficaram em torno de 11,10 metros de profundidade, o rebaixamento alcançou próximo a 4,5 metros, sendo feita a verificação através de dois poços (figura 51).



**Figura 51:** Poços de inspeção.  
Fonte: Arquivo do Autor.

Os conjuntos de bombas contam com uma câmara de vácuo, uma bomba de vácuo, uma bomba centrífuga e um painel de controle (figura 52). A energia necessária para suprir a operação veio de um gerador a diesel instalado no canteiro de obra (figura 53).



**Figura 52:** Conjunto de bombas.

Fonte: Arquivo do Autor.



**Figura 53:** Gerador a diesel.

Fonte: Arquivo do Autor.

De posse destes dados o método aplicado foi submetido a um estudo de compatibilidade, nota-se que de acordo com a figura 36 (Cap. 3) proveniente da sondagem, foi traçado um perfil

que indica que o solo a ser drenado é composto por uma camada de aproximadamente 4 metros de espessura contendo solo argila siltosa arenosa, após essa camada encontra-se uma outra com espessura média de 16,50 m composta por areia fina siltosa com pedregulhos e após essa profundidade encontrou-se material impermeável.

Regressando ao Cap. 2, subseção 2.2.1, classificando o solo a ser rebaixado com granulometria entre 0,5 e 0,01 mm respectivamente, foi feita uma análise com o auxílio da figura 29, subseção 2.2.3, onde se tem a aplicabilidade geral dos sistemas de rebaixamento.

Pertinente a figura 29, temos uma variação de drenagem por gravidade, drenagem muito lenta e drenagem por gravidade impraticável.

Uma execução de drenagem por bombeamento direto ou esgotamento de vala seria uma solução aplicável, porém nas proximidades do local da vala existe um curso d'água, que torna as recargas muito intensas, dificultando a estabilização do fundo, o que configura em um método não satisfatório para o caso em questão.

Tendo conhecimento da existência de um solo impermeável a aproximadamente 20 m de profundidade a utilização de poços profundos seria uma solução muito onerosa para a obra, uma vez que, o rebaixamento será temporário essa técnica emprega equipamentos mais complexos e requer um maior controle.

Enfim o método das ponteiros filtrantes, que foi utilizado, propõe uma instalação mais eficiente, conforme subseção 2.1.2.4 do cap. 2.

O tipo de solo é compatível com a operação, uma vez que foi utilizado o vácuo para otimizar a remoção de água do solo.

Conclui-se que quanto ao dimensionamento, cada ponteira realizou a extração de 0,6  $m^3$ /hora, sendo constatada durante a pesquisa uma capacidade de 1 a 2  $m^3$ /hora. Assim sendo, o dimensionamento de cada ponteira ficou próximo ao calculado (Ver cap.4 do Anexo A).

Em relação aos impactos, não foram constatados nenhum tipo de recalque ou afundamento que caracterizasse uma patologia.

As informações como vazão média e profundidade de rebaixamento foram obtidas durante as visitas, as demais informações foram fornecidas pelo engenheiro da obra e extraídas do projeto geotécnico, sendo desconhecidos relatórios técnicos com o levantamento periódico desses dados, cujo seria imprescindível a elaboração do mesmo para um acompanhamento mais preciso, a fim de prevenir qualquer reação adversa ao processo.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o auxílio da técnica de rebaixamento, tornou-se viável a execução em obras de subsolo, tuneis, estabilização de maciços, entre outros tipos de obras. O estudo das várias técnicas para a execução do rebaixamento, teve sua propulsão devido ao crescimento dos grandes centros, com a diminuição de terrenos favoráveis e obras cada vez mais ambiciosas.

Após todo o estudo do tema, fica evidente a importância do rebaixamento de lençol freático, seja em pequenas ou grandes profundidades.

Como visto anteriormente, Caputo menciona sobre o desafio que se enfrenta ao se deparar com a presença de água durante uma escavação, uma vez que, não só dificulta ou até mesmo inviabiliza o trabalho.

Visto que com o estudo da Estação Elevatória de Esgoto ocorreu a impossibilidade da locação da perfuratriz para a execução da fundação. O rebaixamento foi empregado, utilizando o método das ponteiros filtrantes, que obteve total êxito no processo e não trouxe nenhum inconveniente para o empreendimento, o que pode justificar o grande crescimento para a utilização desta técnica. A presente pesquisa obteve êxito em seu propósito que era analisar, caracterizar e comprovar o desempenho do tipo de rebaixamento utilizado na EEE da ETE de Caratinga.

Com os avanços tecnológicos, os equipamentos utilizados são mais precisos, quanto à eficácia do processo de rebaixamento e também para cumprir com os parâmetros de segurança e preservação do meio ambiente, todavia, ainda se estudam métodos para melhorar seu desempenho.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALONSO, Urbano Rodriguez, **Rebaixamento Temporário de Aquíferos**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.
2. CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações Vol.2.6.ed.**,Rio de Janeiro: LTC, 2007.
3. CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações Vol.1.6.ed.**,Rio de Janeiro: LTC, 2007.
4. DYMINSKI, Andrea Sell, **Rebaixamento de Lençol Freático**, [http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC066/Rebaixamento\\_de\\_%20lencol.pdf](http://www.cesec.ufpr.br/docente/andrea/TC066/Rebaixamento_de_%20lencol.pdf) Acesso em: 12/10/2015
5. **Efeitos do Rebaixamento do Lençol Freático** <http://www.ebanataw.com.br/roberto/pericias/lfeitos.htm> Acesso em: 05/10/2015
6. GARCEZ, Lucas Nogueira. Alvarez, Guillermo Acosta. **Hidrologia, 2ª Ed.**, São Paulo: Blucher, 1988.
7. GEOSONDA S.A., **Poços Profundos com Injetores**, <http://www.geosonda.com.br/injetores.php> Acesso em: 12/10/2015
8. GRANDIS, Ivan. **Fundações – Teoria e Prática. 2ª ed.**, São Paulo: Pini, 1998.
9. MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento, 2ª ed.**, Rio de Janeiro, LTC, 2010.
10. MARAGON, M., **Rebaixamento do Lençol Freático**, [http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot\\_unid02.2.pdf](http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_unid02.2.pdf) Acesso em: 12/10/2015
11. MULLER, Maria Cristina Nakano, **Rebaixamento de Lençol Freático: Indicações, Método, e Impactos Decorrente**. Disponível em: <http://engenharia.anhemi.br/tcc-04/civil-24.pdf> Acesso em: 07/09/2015
12. ORTIGÃO, José Alberto Ramalho. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos. 3.ed.** LTC, 2007.
13. PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas.3.ed.**,São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
14. PINTO, Nelson L. de Souza. HOLTZ, Antonio Carlos Tatit. MARTINS, José Augusto. GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **Hidrologia Básica, 1ª ed.**, São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
15. **Rebaixamento do Lençol Freático** <http://www.ebanataw.com.br/roberto/pericias/lencol.htm> Acesso em: 05/10/2015
16. **Rebaixamento**,<http://itubombas.com.br/?p=aplicacoes/rebaixamento-de-lencol-freatico>

Acesso em: 05/10/2015

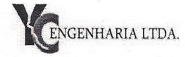
17. TUCCI, Carlos E. M, **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**, 3 ed. São Paulo: Escrituras. 2006

18. VITOR, Manoel, **Rebaixamento Temporário do Lençol Freático (Aquíferos)**, [http://www.ecivilnet.com/artigos/rebaixamento\\_lencol\\_freatico.htm](http://www.ecivilnet.com/artigos/rebaixamento_lencol_freatico.htm) Acesso em: 05/10/2015



## ANEXO A LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



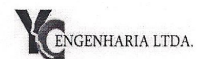
### SUMÁRIO

O projeto Geotécnico da EEB-Final, pertencente ao Sistema de Esgotamento Sanitário de Caratinga – MG, é composto por um único volume, descrito a seguir:

**VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS:**

**TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL.**

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



## ÍNDICE

1	OBJETIVO.....	5
2	REFERÊNCIAS .....	6
3	ANÁLISE DE ESTABILIDADE .....	7
4	CÁLCULO DO REBAIXAMENTO PROVISÓRIO DO NA.....	8
5	CÁLCULO DAS FUNDAÇÕES.....	10
6	CÁLCULO DE TERRAPLENAGEM .....	25
7	DESENHOS.....	26

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



## 1 OBJETIVO

Este relatório tem como objetivo apresentar os resultados dos estudos geotécnicos elaborados pela YC Engenharia para a Elevatória Final de Caratinga - MG, em particular os projetos de fundação, estabilidades de taludes, terraplenagem e rebaixamento.

## 2 REFERÊNCIAS

Para a elaboração desse estudo técnico, foram consultados os seguintes documentos:

Desenhos:

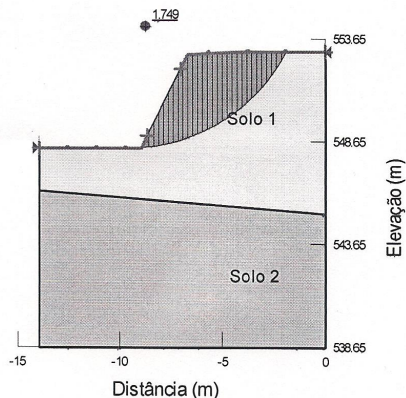
- 01478926-ES-BS-01-EFI-EFI01-DS-001-0-YCE-2012 a 01478926-ES-BS-01-EFI-EFI01-DS-004-0-YCE-2012;
- 01478926-ES-BS-01-IMP-EFI01-DS-002-0-YCE-2012;
- 01478926-ES-EC-01-EFI-EFI01-DS-002-0-YCE-2012;
- 01478926-ES-EC-01-EFI-EFI01-DS-001-0-YCE-2012;
- 01478926-ES-EC-01-EFI-EFI01-DS-011-0-YCE-2012;
- Relatório de Sondagem Mista nº RS-035-2014, datado em 14 novembro de 2014, emitido por Minas Solos Sondagens Ltda, executado por Wilson Rodrigues de Oliveira;
- NBR 6118 – Projeto de Estrutura de Concreto;
- NBR 6484 – Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos – Método de Ensaio;
- NBR 8036 – Programação de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos para Fundações de Edifícios – Procedimento;
- NBR 8044/1983 – Projeto Geotécnico;
- NBR 11682/1991 – Estabilidade de Taludes.

### 3 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

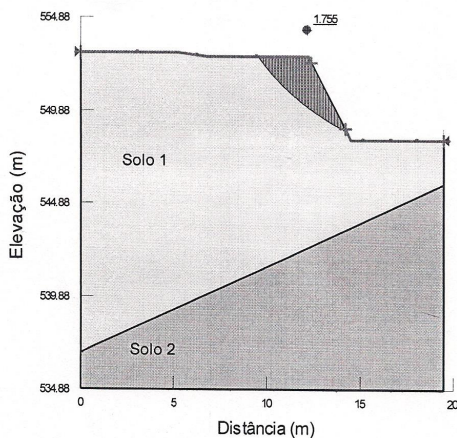
#### Análise de estabilidade – Seção AA – Inclinação 2:1

Name: Solo 1 - Argila silto-arenosa - SPT=1  
 Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 15 kPa  
 Phi: 22 °

Name: Solo 2 - Argila silto-arenosa - SPT=7  
 Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 18 kPa  
 Phi: 26 °



#### Análise de estabilidade – Seção AA – Inclinação 2:1



Name: Solo 1 - Argila silto-arenosa - SPT=1  
 Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 15 kPa  
 Phi: 22 °

Name: Solo 2 - Argila silto-arenosa - SPT=11,1  
 Model: Mohr-Coulomb  
 Unit Weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 30 kPa  
 Phi: 24 °

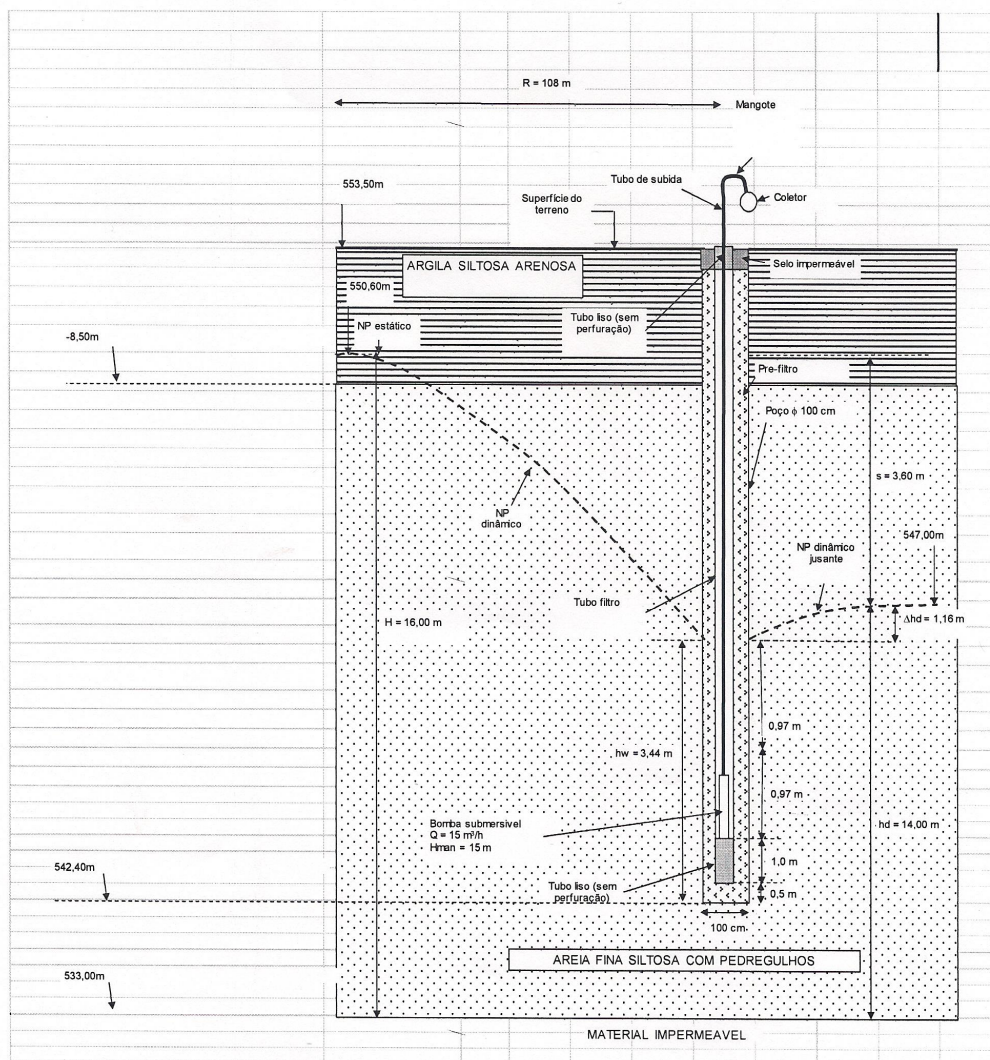
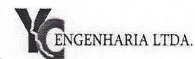
VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



#### 4 CÁLCULO DO REBAIXAMENTO PROVISÓRIO DO NA

CÁLCULO DO REBAIXAMENTO - AQ. GRAVITACIONAL	
<b>Dados de entrada</b>	
Altura H	17,6 m
Rebaixamento - s	3,6 m
A	278 m <sup>2</sup>
rp	9,41 m
Raio do poço - rw	0,50 m
Permeabilidade do aquífero - k	0,0001 m/s
Distância a fonte linear - L	30,00 m
Área interna aos poços ( a rebaixar) - S	11,30 m <sup>2</sup>
Perímetro - p	3,14 m
Tipo de aquífero	GRAVITACIONAL
Espessura do aquífero - D	17,60 m
<b>Cálculos</b>	
hd	14 m
Raio de influência - $R = 3000 \cdot (H-hw) \cdot k^{0,5}$	108 m
Raio equivalente da área a rebaixar - $A=rp=(A/\pi)^{0,5}$	9,41 m
<b>Vazão total (fonte circular)</b>	
$nQw = \pi \cdot k \cdot (H^2 - hd^2) / (\ln(R/rp))$	0,014642945 m <sup>3</sup> /s
	53 m <sup>3</sup> /h
n = nº poços	4 un.
Qp =	13,18 m <sup>3</sup> /h
Vazão por poço - Qw	0,00402681 m <sup>3</sup> /s
	14,50 m <sup>3</sup> /h
Vazão por Poço Adotada	15,00 m <sup>3</sup> /h
<b>Altura da Freatica dentro do furo - ho</b>	
ho =	12,84 m
<b>Mínimo comprimento filtrante do poço - hf</b>	
$hf = 15 \cdot Qw / (2 \cdot \pi \cdot rw \cdot k^{0,5})$	1,92 m
Adotar	1,92 m
<b>0</b>	
Prof. Bomba =	6,68 m
Prof. Bomba Adotada =	6,70 m
<b>Profundidade do poço a partir do N.A.</b>	
Prof. Poço =	8,20 m
Prof. Poço Adotada =	8,20 m
Vel. de entrada da água - $v = Qw / (2 \cdot \pi \cdot rw \cdot hf)$	0,0007 m/s
	0,07 cm/s
OK $v < 5$ cm/s	

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
 TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



## 5 CÁLCULO DAS FUNDAÇÕES

### Sondagem mista 01C

- Estaca hélice contínua ø50cm

#### PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 01C	
COTA DE CÁLCULO	553,50	m
LIMITE DA SONDAGEM	21,85	m
	$\phi$ (cm)	50

PROF. (m)	SPT	SPT ACUM.	MAT.	ATRITO LATERAL - (t)						
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	2	2	ARGS	0,00	0,00	1,54	0,00	0,00	0,00	0
2	2	4	ARGS	1,68	6,28	3,08	2,51	1,35	1,93	3
3	20	24	ARGS	3,36	9,42	18,46	5,02	2,70	3,86	7
4	17	41	ARGS	20,18	24,42	31,54	17,58	16,21	16,74	21
5	14	55	ARGS	34,47	35,98	42,31	28,26	27,70	27,68	33
6	7	62	ARGS	46,24	45,22	47,70	37,05	37,16	36,69	42
7	7	69	ARGS	52,13	50,07	53,08	41,45	41,89	41,20	47
8	3	72	ARGS	58,01	55,02	55,39	45,84	46,61	45,70	51
9	4	76	ARGS	60,53	57,70	58,47	48,36	48,64	47,63	54
10	8	84	ARGS	63,90	61,06	64,62	50,87	51,34	50,21	57
11	7	91	ARGS	70,62	66,78	70,01	55,89	56,75	55,36	63
12	13	104	ARGS	76,51	71,93	80,01	60,29	61,48	59,86	68
13	16	120	ARGS	87,44	80,51	92,32	68,45	70,26	68,23	78
14	22	142	ARGS	100,89	90,74	109,24	78,50	81,07	78,53	90
15	27	169	ARS	119,38	104,29	130,01	92,32	95,93	92,69	106
16	25	194	ARS	150,01	112,54	149,24	109,27	114,17	112,19	125
17	15	209	ARS	178,37	124,55	160,78	124,97	131,06	130,25	142
18	18	227	ARS	195,38	132,10	174,63	134,39	141,19	141,08	153
19	19	246	ARS	215,80	140,97	189,25	145,70	153,35	154,08	167
20	40	286	ARS	237,35	150,28	220,02	157,63	166,19	167,80	183
21	40	326	ARS	282,73	168,81	250,79	182,75	193,21	196,69	212



VOLUME I - LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I - PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



## PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 01C	
COTA DE CÁLCULO	553,50	m
LIMITE DA SONDAGEM	21,85	m

PROF. (m)	SPT	SPTmed ponta	MAT.	RESISTENCIA DE PONTA - (t)						
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	2	5	ARGS	1,95	4,00	23,55	3,93	1,96	7,83	7
2	2	8	ARGS	11,20	17,35	40,23	5,89	11,28	12,95	16
3	20	11	ARGS	18,99	26,69	53,97	23,55	19,13	17,17	27
4	17	12	ARGS	20,93	34,03	58,88	28,46	21,10	19,28	30
5	14	13	ARGS	20,20	25,36	63,78	31,89	20,36	20,48	30
6	7	10	ARGS	19,72	18,68	47,10	22,08	19,87	20,48	25
7	7	7	ARGS	18,99	11,34	34,34	17,17	19,13	15,66	19
8	3	6	ARGS	14,36	9,34	28,46	10,79	14,47	12,95	15
9	4	6	ARGS	13,39	10,01	28,46	9,32	13,49	10,84	14
10	8	7	ARGS	12,41	12,68	34,34	11,78	12,51	12,65	16
11	7	10	ARGS	15,09	18,68	47,10	12,76	15,21	15,36	21
12	13	13	ARGS	19,47	24,02	64,76	20,12	19,63	21,09	28
13	16	17	ARGS	26,29	34,03	83,41	25,51	26,49	38,10	39
14	22	21	ARGS	47,71	56,26	101,07	35,82	48,08	52,56	57
15	27	21	ARS	64,75	74,21	103,03	76,93	65,25	60,57	74
16	25	21	ARS	64,50	76,70	104,99	93,91	65,01	68,80	79
17	15	21	ARS	66,69	66,40	102,05	88,51	67,22	76,80	78
18	18	23	ARS	73,99	59,53	114,81	82,03	74,58	97,17	84
19	19	26	ARS	98,82	88,15	129,53	76,64	99,60	105,94	100
20	40	31	ARS	115,37	113,33	154,06	126,29	116,28	116,06	124
21	40	28	ARS	122,68	137,38	136,39	150,03	123,64	#VALOR!	#VALOR!

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



**PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA**

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 01C	
COTA DE CÁLCULO	553,50	m
LIMITE DA SONDAGEM	21,85	m

$\phi$  (cm) 50

PROF. (m)	SPT	MAT.	CARGA ADMISSÍVEL - (t)						
			P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	2	ARGS	0,78	1,00	12,54	0,98	0,00	0,00	3
2	2	ARGS	5,15	9,17	21,65	3,15	1,69	2,41	7
3	20	ARGS	8,94	13,92	36,22	9,24	3,38	4,83	13
4	17	ARGS	16,44	27,29	45,21	18,84	18,66	18,01	24
5	14	ARGS	21,87	34,02	53,05	26,81	24,03	24,08	31
6	7	ARGS	26,38	39,45	47,40	30,22	28,51	28,59	33
7	7	ARGS	28,44	41,35	43,71	31,92	30,51	28,43	34
8	3	ARGS	28,95	44,66	41,92	33,26	30,54	29,33	35
9	4	ARGS	29,57	46,88	43,46	34,57	31,07	29,24	36
10	8	ARGS	30,52	50,14	49,48	36,86	31,93	31,43	38
11	7	ARGS	34,29	56,04	58,55	40,45	35,98	35,36	43
12	13	ARGS	38,39	61,34	72,38	45,22	40,55	40,48	50
13	16	ARGS	45,49	70,44	87,86	52,01	48,38	53,17	60
14	22	ARGS	59,44	83,86	105,15	61,29	64,57	65,55	73
15	27	ARS	73,65	98,78	116,52	80,78	80,59	76,63	88
16	25	ARS	85,81	105,74	127,12	96,32	89,59	90,50	99
17	15	ARS	98,02	112,41	131,42	105,44	99,14	103,53	108
18	18	ARS	107,75	116,50	144,72	110,10	107,88	119,12	118
19	19	ARS	125,85	130,48	159,39	116,29	126,48	130,01	131
20	40	ARS	141,09	143,93	187,04	136,66	141,23	141,93	149
21	40	ARS	162,16	164,19	193,59	159,34	158,43	#VALOR!	#VALOR!

Carga admissível (comprimento=19m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(88,15+140,97) / 2] - 90,74 \rightarrow Padm = 23,82t - Atrito negativo de todo o aterro.$

Carga admissível (comprimento=20m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(113,33+150,28) / 2] - 90,74 \rightarrow Padm = 41,07t - Atrito negativo de todo o aterro.$

VOLUME I - LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I - PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



## Sondagem mista 02C

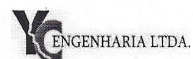
- Estaca hélice contínua ø50cm

## PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 02C	
COTA DE CÁLCULO	553,50	m
LIMITE DA SONDAGEM	24	m

PROF. (m)	SPT	SPT ACUM.	MAT.	ATRITO LATERAL - (t)							MÉDIA
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI		
1	6	6	ARGS	0,00	0,00	4,62	0,00	0,00	0,00	1	
2	8	14	ARGS	5,04	9,42	10,77	3,77	4,05	3,86	6	
3	5	19	ARGS	11,77	15,70	14,62	8,79	9,46	9,01	12	
4	8	27	ARGS	15,97	19,54	20,77	11,93	12,84	12,23	16	
5	4	31	ARGS	22,70	25,51	23,85	16,96	18,24	17,38	21	
6	6	37	ARGS	26,06	28,89	28,46	19,47	20,94	19,95	24	
7	8	45	ARGS	31,11	33,58	34,62	23,24	25,00	23,82	29	
8	11	56	ARGS	37,83	39,47	43,08	28,26	30,40	28,97	35	
9	10	66	ARGS	47,08	47,10	50,77	35,17	37,83	36,05	42	
10	8	74	ARGS	55,49	54,08	56,93	41,45	44,59	42,48	49	
11	10	84	ARGS	62,21	59,87	64,62	46,47	49,99	47,63	55	
12	9	93	ARGS	70,62	66,80	71,54	52,75	56,75	54,07	62	
13	11	104	ARGS	78,19	73,14	80,01	58,40	62,83	59,86	69	
14	5	109	ARGS	87,44	80,59	83,85	65,31	70,26	66,94	76	
15	3	112	ARS	91,64	84,67	86,16	68,45	73,64	70,16	79	
16	7	119	ARS	95,04	82,28	91,55	70,96	75,66	72,33	81	
17	8	127	ARS	102,98	86,41	97,70	75,36	80,39	77,39	87	
18	10	137	ARS	112,06	90,99	105,39	80,38	85,80	83,16	93	
19	13	150	SAR	123,40	96,45	115,40	86,66	92,55	90,38	101	
20	15	165	SAR	137,28	107,09	126,93	94,83	101,34	99,57	111	
21	17	182	SAR	153,29	115,72	140,01	104,25	111,47	110,17	122	
22	22	204	SAR	171,44	125,33	156,94	114,92	122,95	122,18	136	
23	24	228	SAR	194,93	137,38	175,40	128,74	137,82	137,72	152	
24	40	268	SAR	220,55	150,39	206,17	143,81	154,03	154,68	172	

VOLUME I - LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I - PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



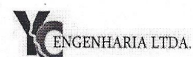
## PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 02C	
COTA DE CÁLCULO	553,50	m
LIMITE DA SONDAGEM	24	m

$\phi$  (cm) 50

PROF. (m)	SPT	SPTmed ponta	MAT.	RESISTENCIA DE PONTA - (t)						
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	6	4	ARGS	6,82	9,34	18,64	5,89	6,87	5,72	9
2	8	5	ARGS	7,79	12,68	26,49	10,79	7,85	8,13	12
3	5	6	ARGS	9,74	14,01	30,42	11,78	9,81	9,34	14
4	8	6	ARGS	10,47	11,34	30,42	14,23	10,55	11,15	15
5	4	6	ARGS	11,44	12,01	30,42	10,30	11,53	11,75	15
6	6	7	ARGS	12,90	12,01	36,31	11,78	13,00	12,65	16
7	8	8	ARGS	14,85	16,68	38,27	12,76	14,96	14,16	19
8	11	9	ARGS	16,55	19,35	42,19	17,66	16,68	14,16	21
9	10	9	ARGS	15,82	19,35	46,12	19,13	15,95	15,97	22
10	8	10	ARGS	17,28	18,68	47,10	18,15	17,42	16,87	23
11	10	10	ARGS	18,26	18,02	47,10	18,64	18,40	17,77	23
12	9	9	ARGS	19,23	20,02	42,19	17,66	19,38	15,97	22
13	11	8	ARGS	16,79	16,68	37,29	20,12	16,93	14,98	20
14	5	7	ARGS	14,60	14,11	34,34	14,72	14,72	17,29	18
15	3	7	ARS	18,26	14,78	33,36	16,49	18,40	19,68	20
16	7	7	ARS	22,15	20,61	32,38	21,88	22,32	23,71	24
17	8	8	ARS	26,29	28,62	40,23	29,14	26,49	27,03	30
18	10	11	ARS	29,84	33,36	52,01	37,78	29,44	33,17	36
19	13	13	SAR	35,44	38,92	61,82	39,84	34,34	39,82	42
20	15	15	SAR	42,16	44,16	75,56	44,55	40,60	46,31	49
21	17	18	SAR	50,04	52,99	89,29	48,67	47,84	53,15	57
22	22	24	SAR	58,22	61,82	115,79	59,66	55,32	66,80	70
23	24	29	SAR	75,94	84,39	140,32	68,30	71,75	80,57	87
24	40	33	SAR	92,69	102,05	162,89	98,91	87,58	93,32	106

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



**PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA**

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 02C	
COTA DE CÁLCULO	553,50	m
LIMITE DA SONDAGEM	24	m

PROF. (m)	SPT	MAT.	φ (cm) 50						
			CARGA ADMISSÍVEL - (t)						
			P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	6	ARGS	2,73	2,34	11,63	1,47	0,00	0,00	3
2	8	ARGS	5,13	10,42	18,63	5,21	5,07	4,83	8
3	5	ARGS	8,60	15,58	22,52	8,81	9,64	9,18	12
4	8	ARGS	10,58	17,86	25,59	11,51	11,69	11,69	15
5	4	ARGS	13,66	22,63	27,13	13,88	14,89	14,56	18
6	6	ARGS	15,59	25,22	32,39	15,92	16,97	16,30	20
7	8	ARGS	18,38	30,00	36,44	18,68	19,98	18,99	24
8	11	ARGS	21,75	35,20	42,64	23,26	23,54	21,56	28
9	10	ARGS	25,16	41,07	48,45	28,23	26,89	26,01	33
10	8	ARGS	29,11	46,27	52,01	32,17	31,00	29,68	37
11	10	ARGS	32,19	50,56	55,86	35,64	34,20	32,70	40
12	9	ARGS	35,94	56,39	56,87	39,58	38,06	35,02	44
13	11	ARGS	37,99	60,43	58,65	43,96	39,88	37,42	46
14	5	ARGS	40,82	65,52	59,10	47,22	42,49	42,12	50
15	3	ARS	43,96	68,83	59,76	49,76	46,02	44,92	52
16	7	ARS	46,88	68,45	61,96	52,78	48,99	48,02	55
17	8	ARS	51,71	73,62	68,97	57,53	53,44	52,21	60
18	10	ARS	56,76	78,33	78,70	63,03	57,62	58,17	65
19	13	SAR	63,54	83,92	88,61	67,74	63,45	65,10	72
20	15	SAR	71,78	93,42	101,25	74,36	70,97	72,94	81
21	17	SAR	81,34	102,27	114,65	81,67	79,65	81,66	90
22	22	SAR	91,87	111,86	136,36	91,53	89,14	94,49	103
23	24	SAR	108,35	126,78	157,86	102,90	104,79	109,14	118
24	40	SAR	125,30	141,20	184,53	120,60	120,80	124,00	136

Carga admissível (comprimento=19m):

$$\text{Padm} = [(\text{Pres. ponta} + \text{Patr. lateral}) / \text{FS}] - \text{Patr. Negativo} \rightarrow \text{Padm} = [(38,92+96,45) / 2] - 80,59 \rightarrow \text{Padm} = -12,91\text{t} - \text{Atrito negativo de todo o aterro.}$$

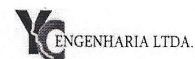
Carga admissível (comprimento=21m):

$$\text{Padm} = [(\text{Pres. ponta} + \text{Patr. lateral}) / \text{FS}] - \text{Patr. Negativo} \rightarrow \text{Padm} = [(76,30+138,87) / 2] - 96,71 \rightarrow \text{Padm} = 10,88\text{t} - \text{Atrito negativo de todo o aterro.}$$

Carga admissível (comprimento=22m):

$$\text{Padm} = [(\text{Pres. ponta} + \text{Patr. lateral}) / \text{FS}] - \text{Patr. Negativo} \rightarrow \text{Padm} = [(61,82+125,33) / 2] - 80,59 \rightarrow \text{Padm} = 12,99\text{t} - \text{Atrito negativo de todo o aterro.}$$

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



Carga admissível (comprimento=23m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(84,39+137,38) / 2] - 80,59 \rightarrow Padm = 30,30t$  – Atrito negativo de todo o aterro.

Carga admissível (comprimento=24m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(102,05+150,39) / 2] - 80,59 \rightarrow Padm = 45,63t$  – Atrito negativo de todo o aterro.

### Sondagem mista 03C

#### PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 03C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAGEM	16,9	m

PROF. (m)	SPT	SPT ACUM.	MAT.	ATRITO LATERAL - (t)						
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	7	7	ARGS	0,00	0,00	5,39	0,00	0,00	0,00	1
2	8	15	ARGS	5,89	10,47	11,54	4,40	4,73	4,51	7
3	11	26	ARGS	12,61	16,49	20,00	9,42	10,13	9,66	13
4	21	47	ARGS	21,86	24,42	36,16	16,33	17,56	16,74	22
5	7	54	ARS	39,51	38,60	41,54	29,52	31,75	30,25	35
6	10	64	ARS	47,45	40,57	49,24	33,91	36,48	35,31	40
7	10	74	ARS	58,80	45,79	56,93	40,19	43,24	42,53	48
8	11	85	ARS	70,14	51,08	65,39	46,47	49,99	49,75	55
9	9	94	ARS	82,62	56,87	72,31	53,38	57,42	57,70	63
10	13	107	ARS	92,83	61,75	82,32	59,03	63,50	64,20	71
11	16	123	ARS	107,57	68,50	94,62	67,20	72,29	73,59	81
12	13	136	ARS	125,72	76,62	104,62	77,24	83,10	85,14	92
13	40	176	ARS	140,47	83,34	135,40	85,41	91,88	94,53	105
14	40	216	ARS	185,84	102,24	166,17	110,53	118,90	123,42	135
15	40	256	ARS	231,22	121,00	196,94	135,65	145,92	152,31	164
16	40	296	ARS	276,59	139,67	227,71	160,77	172,95	181,19	193

VOLUME I - LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I - PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



**PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA**

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 03C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAGEM	16,9	m

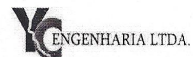
PROF. (m)	SPT	SPTmed ponta	MAT.	RESISTÊNCIA DE PONTA - (t)						
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	7	5	ARGS	7,30	10,01	25,51	6,87	7,36	7,83	11
2	8	9	ARGS	10,95	17,35	46,12	11,28	11,04	14,16	18
3	11	11	ARGS	19,23	26,69	52,99	18,15	19,38	18,88	26
4	21	11	ARGS	23,37	29,37	55,93	29,93	23,55	25,63	31
5	7	12	ARS	27,99	33,47	57,89	30,81	28,21	30,27	35
6	10	12	ARS	32,62	30,91	57,89	39,45	32,87	35,28	38
7	10	9	ARS	36,51	35,49	46,12	39,94	36,80	38,04	39
8	11	11	ARS	37,73	34,34	52,01	45,33	38,02	40,49	41
9	9	12	ARS	39,92	37,78	57,89	42,10	40,23	46,56	44
10	13	12	ARS	47,71	43,50	60,84	49,65	48,08	48,58	50
11	16	18	ARS	49,17	48,08	89,29	58,29	49,55	68,83	61
12	13	24	ARS	75,46	78,99	119,71	59,37	76,05	88,40	83
13	40	30	ARS	102,72	106,47	146,21	117,65	103,52	109,31	114
14	40	35	ARS	117,81	137,38	169,76	143,56	118,73	127,53	136
15	40	40	ARS	130,95	137,38	196,25	172,70	131,98	143,73	152
16	40	32	ARS	142,64	137,38	157,00	172,70	143,75	#VALOR!	#VALOR!

**PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA**

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 03C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAGEM	16,9	m

PROF. (m)	SPT	MAT.	CARGA ADMISSÍVEL - (t)						
			P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	7	ARGS	2,92	2,50	15,45	1,72	0,00	0,00	4
2	8	ARGS	6,74	12,39	28,83	5,75	5,91	5,63	11
3	11	ARGS	12,74	19,35	36,49	10,82	12,67	12,07	17
4	21	ARGS	18,09	26,13	46,04	18,37	20,56	20,92	25
5	7	ARS	27,00	38,06	49,72	27,38	29,98	30,26	34
6	10	ARS	32,03	38,93	53,56	32,47	34,68	35,30	38
7	10	ARS	38,12	44,10	51,52	36,78	40,02	40,29	42
8	11	ARS	43,15	47,88	58,70	42,31	44,01	45,12	47
9	9	ARS	49,01	53,19	65,10	46,11	48,83	52,13	52
10	13	ARS	56,21	58,38	71,58	51,77	55,79	56,39	58
11	16	ARS	62,70	64,72	91,96	59,37	60,92	71,21	68
12	13	ARS	80,47	78,68	112,17	66,34	79,57	86,77	84
13	40	ARS	97,27	90,72	140,80	86,35	97,70	101,92	102
14	40	ARS	121,46	112,99	167,96	109,57	118,82	125,47	126
15	40	ARS	144,87	127,42	196,60	133,61	138,95	148,02	148
16	40	ARS	167,69	141,78	192,36	150,35	158,35	#VALOR!	#VALOR!

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



Carga admissível (comprimento=11m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(48,08+68,50) / 2] - 24,42$   
 $\rightarrow Padm = 33,87t - Atrito negativo em todo o aterro.$

Carga admissível (comprimento=12m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(78,99+76,62) / 2] - 24,42$   
 $\rightarrow Padm = 53,39t - Atrito negativo em todo o aterro.$

Carga admissível (comprimento=13m):

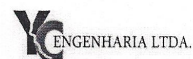
$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(106,47+83,34) / 2] - 24,42$   
 $\rightarrow Padm = 70,49t - Atrito negativo em todo o aterro.$

Carga admissível (comprimento=14m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(137,38+102,24) / 2] - 24,42$   
 $\rightarrow Padm = 95,39t - Atrito negativo em todo o aterro.$



VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



Sondagem mista 04C

- Estaca hélice contínua

**PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA**

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 04C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAGEM	18,45	m
	$\phi$ (cm)	50

PROF. (m)	SPT	SPT ACUM.	MAT.	ATRITO LATERAL - (t)						
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	6	6	ARGS	0,00	0,00	4,62	0,00	0,00	0,00	1
2	7	13	ARGS	5,04	9,42	10,00	3,77	4,05	3,86	6
3	20	33	ARGS	10,93	14,92	25,39	8,16	8,78	8,37	13
4	6	39	ARGS	27,74	29,31	30,00	20,72	22,29	21,24	25
5	9	48	ARGS	32,79	33,36	36,93	24,49	26,35	25,10	30
6	10	58	ARGS	40,36	39,56	44,62	30,14	32,43	30,90	36
7	10	68	ARGS	48,76	46,40	52,31	36,42	39,18	37,33	43
8	13	81	SAR	57,17	53,23	62,31	42,70	45,94	43,77	51
9	15	96	SAR	71,05	59,64	73,85	50,87	54,72	52,96	61
10	15	111	SAR	87,06	68,32	85,39	60,29	64,85	63,55	72
11	15	126	SAR	103,08	76,97	96,93	69,71	74,99	74,15	83
12	17	143	SAR	119,09	85,58	110,01	79,13	85,12	84,75	94
13	18	161	SAR	137,24	95,19	123,86	89,80	96,61	96,76	107
14	20	181	SAR	156,46	105,28	139,24	101,11	108,77	109,48	120
15	26	207	SAR	177,81	116,35	159,25	113,67	122,28	123,61	135
16	27	234	SAR	205,57	130,40	180,02	130,00	139,84	141,98	155
17	40	274	SAR	234,39	144,90	210,79	146,95	158,08	161,05	176
18	40	314	SAR	277,10	165,85	241,56	172,07	185,11	189,31	205

VOLUME I - LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I - PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



## PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 04C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAAGEM	18,45	m

PROF. (m)	SPT	SPTmed ponta	MAT.	RESISTENCIA DE PONTA - (t)						
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	6	7	ARGS	6,33	8,67	32,38	5,89	6,38	9,94	12
2	7	8	ARGS	14,60	22,02	38,27	9,81	14,72	11,75	19
3	20	10	ARGS	15,82	22,02	47,10	26,00	15,95	14,46	24
4	6	10	ARGS	15,33	23,35	51,03	19,13	15,45	17,47	24
5	9	11	ARGS	18,74	16,68	53,97	21,59	18,89	18,68	25
6	10	10	ARGS	19,96	19,35	47,10	17,17	20,12	23,20	24
7	10	11	ARGS	25,95	26,10	55,93	19,13	25,51	24,82	30
8	13	13	SAR	30,33	34,15	61,82	30,22	29,19	30,66	36
9	15	14	SAR	35,49	42,19	66,73	38,66	33,98	35,60	42
10	15	15	SAR	39,14	44,16	73,59	45,53	37,29	41,26	47
11	15	16	SAR	44,10	46,12	78,50	47,10	41,83	47,42	51
12	17	17	SAR	49,85	49,06	83,41	50,24	47,10	50,99	55
13	18	19	SAR	53,74	53,97	94,20	53,38	50,78	56,60	60
14	20	22	SAR	61,14	62,80	105,98	58,88	57,77	62,72	68
15	26	26	SAR	68,54	71,63	128,54	70,65	64,76	75,47	80
16	27	31	SAR	83,73	91,26	150,13	78,50	79,11	87,20	95
17	40	27	SAR	97,75	104,99	130,51	104,41	92,36	#VALOR!	#VALOR!
18	40	21	SAR	#VALOR!	#VALOR!	104,99	115,40	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!

## PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 04C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAAGEM	18,45	m

PROF. (m)	SPT	MAT.	CARGA ADMISSÍVEL - (t)						
			P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	6	ARGS	2,53	2,17	18,50	1,47	0,00	0,00	4
2	7	ARGS	7,86	12,75	24,13	4,97	5,07	4,83	10
3	20	ARGS	10,70	16,98	36,24	11,94	10,98	10,46	16
4	6	ARGS	17,23	28,38	40,51	18,60	18,87	19,36	24
5	9	ARGS	20,61	29,83	45,45	21,72	22,62	21,89	27
6	10	ARGS	24,13	35,27	45,86	24,39	26,27	27,05	30
7	10	ARGS	29,88	42,22	54,12	29,07	32,35	31,08	36
8	13	SAR	35,00	49,48	62,07	36,02	37,57	37,22	43
9	15	SAR	42,61	56,43	70,29	43,58	44,35	44,28	50
10	15	SAR	50,48	63,60	79,49	51,57	51,07	52,41	58
11	15	SAR	58,87	70,73	87,72	58,25	58,41	60,79	66
12	17	SAR	67,58	78,10	96,71	65,31	66,11	67,87	74
13	18	SAR	76,39	86,72	109,03	73,21	73,69	76,68	83
14	20	SAR	87,04	96,68	122,61	82,12	83,27	86,10	93
15	26	SAR	98,54	107,41	143,89	93,44	93,52	99,54	106
16	27	SAR	115,72	123,12	165,07	106,29	109,48	114,59	122
17	40	SAR	132,86	137,71	170,65	124,07	125,22	#VALOR!	#VALOR!
18	40	SAR	#VALOR!	#VALOR!	173,28	143,56	#VALOR!	#VALOR!	#VALOR!

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



Carga admissível (comprimento=13m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(53,97+95,19) / 2] - 46,40 \rightarrow Padm = 28,18t$  – Atrito negativo em todo o aterro.

Carga admissível (comprimento=14m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(62,80+105,28) / 2] - 46,40 \rightarrow Padm = 37,64t$  – Atrito negativo em todo o aterro.

Carga admissível (comprimento=15m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(71,63+116,35) / 2] - 46,40 \rightarrow Padm = 47,59t$  – Atrito negativo em todo o aterro.

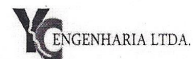
Carga admissível (comprimento=16m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(76,54+130,40) / 2] - 46,40 \rightarrow Padm = 57,07t$  – Atrito negativo em todo o aterro.

Carga admissível (comprimento=17m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(104,99+144,90) / 2] - 46,40 \rightarrow Padm = 78,55t$  – Atrito negativo em todo o aterro.

VOLUME I - LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I - PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



### Sondagem mista 05C

- Estaca hélice contínua

#### PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 05C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAGEM	14,25	m

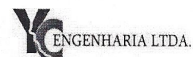
PROF. (m)	SPT	SPT ACUM.	MAT.	ATRITO LATERAL - (t)							MÉDIA
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI		
1	8	8	ARGS	0,00	0,00	6,15	0,00	0,00	0,00	1	
2	7	15	ARGS	6,73	11,51	11,54	5,02	5,40	5,15	8	
3	7	22	ARGS	12,61	16,49	16,92	9,42	10,13	9,66	13	
4	9	31	ARGS	18,50	21,63	23,85	13,82	14,86	14,16	18	
5	5	36	ARGS	26,06	28,13	27,69	19,47	20,94	19,95	24	
6	8	44	ARGS	30,27	32,03	33,85	22,61	24,32	23,17	28	
7	7	51	ARGS	36,99	37,85	39,23	27,63	29,73	28,32	33	
8	8	59	ARGS	42,88	43,06	45,39	32,03	34,45	32,83	38	
9	7	66	ARGS	49,60	48,87	50,77	37,05	39,86	37,98	44	
10	7	73	ARGS	55,49	54,08	56,16	41,45	44,59	42,48	49	
11	40	113	ARGS	61,37	59,29	86,93	45,84	49,32	46,99	58	
12	40	153	ARGS	95,00	83,35	117,70	70,96	76,34	72,74	86	
13	40	193	ARGS	128,63	107,15	148,47	96,08	103,36	98,49	114	
14	40	233	ARGS	162,26	130,75	179,25	121,20	130,39	124,23	141	

#### PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 05C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAGEM	14,25	m

PROF. (m)	SPT	SPTmed ponta	MAT.	RESISTENCIA DE PONTA - (t)							MÉDIA
				P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI		
1	8	4	ARGS	7,30	10,01	21,59	7,85	7,36	6,63	10	
2	7	6	ARGS	8,76	14,68	30,42	10,79	8,83	9,34	14	
3	7	7	ARGS	11,44	15,35	35,33	14,23	11,53	10,84	16	
4	9	7	ARGS	12,17	14,01	35,33	15,70	12,27	13,25	17	
5	5	7	ARGS	13,87	14,68	35,33	12,76	13,98	12,95	17	
6	8	7	ARGS	14,12	13,35	36,31	14,72	14,23	13,25	18	
7	7	7	ARGS	14,36	15,35	34,34	13,25	14,47	13,25	18	
8	8	7	ARGS	14,36	14,68	36,31	15,21	14,47	12,65	18	
9	7	14	ARGS	13,63	14,68	67,71	14,23	13,74	23,20	25	
10	7	20	ARGS	30,18	36,03	100,09	14,23	30,42	32,84	41	
11	40	27	ARGS	46,00	58,05	131,49	46,12	46,36	42,78	62	
12	40	33	ARGS	54,04	80,07	163,87	62,31	54,46	52,42	78	
13	40	40	ARGS	61,82	80,07	196,25	78,50	62,31	62,36	90	
14	40	32	ARGS	69,86	80,07	157,00	78,50	70,40	#VALOR!	#VALOR!	

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



**PROGRAMA CÁLCULO DE ESTACAS - ESTACA HÉLICE CONTÍNUA**

CLIENTE	0	
OBRA	0	
TRABALHO	0	
SONDAGEM	SM 05C	
COTA DE CÁLCULO	549,00	m
LIMITE DA SONDAGEM	14,25	m

$\phi$  (cm) 50

PROF. (m)	SPT	MAT.	CARGA ADMISSÍVEL - (t)						
			P.P.C.V.	D. - Q.	MILTON	A.H.T.	U.R.A.	ERNANI	MÉDIA
1	8	ARGS	2,92	2,50	13,87	1,96	0,00	0,00	4
2	7	ARGS	6,20	12,53	20,98	6,05	6,76	6,44	10
3	7	ARGS	9,62	16,52	26,12	9,84	10,83	10,25	14
4	9	ARGS	12,27	20,14	29,59	13,14	13,56	13,71	17
5	5	ARGS	15,97	25,31	31,51	16,17	17,46	16,45	20
6	8	ARGS	17,75	27,97	35,08	18,75	19,27	18,21	23
7	7	ARGS	20,54	32,96	36,79	21,73	22,10	20,79	26
8	8	ARGS	22,90	36,80	40,85	25,15	24,46	22,74	29
9	7	ARGS	25,29	41,26	59,24	28,26	26,80	30,59	35
10	7	ARGS	34,27	50,61	78,12	31,19	37,50	37,66	45
11	40	ARGS	42,95	60,12	109,21	42,09	47,84	44,88	58
12	40	ARGS	59,62	84,13	140,79	62,89	65,40	62,58	79
13	40	ARGS	76,18	102,44	172,36	83,68	82,84	80,42	100
14	40	ARGS	92,85	120,60	168,12	100,43	100,39	#VALOR!	#VALOR!

Carga admissível (comprimento=12m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(80,07+83,35) / 2] - 54,08$   
 $\rightarrow Padm = 27,63t$ - Atrito em todo o aterro.

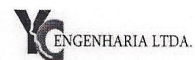
Carga admissível (comprimento=13m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(80,07+107,15) / 2] - 54,08$   
 $\rightarrow Padm = 39,53t$ - Atrito em todo o aterro.

Carga admissível (comprimento=14m):

$Padm = [(Pres. ponta + Patr. lateral) / FS] - Patr. Negativo \rightarrow Padm = [(80,07+130,75) / 2] - 54,08$   
 $\rightarrow Padm = 51,33t$ - Atrito em todo o aterro.

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



ESTACA HÉLICE CONTÍNUA - CARATINGA							
Estaca	Cota do terreno (m)	Comprimento da estaca (m)	Carga de projeto (t)	Diâmetro da estaca (cm)	Carga suportada (t) Atrito(-) todo aterro	SM considerada	Volume de concreto (m³)
E1	553,50	23,00	19	50	30,30	02C	6,10
E2	553,50	23,00	30	50	30,30	02C	6,10
E3	553,50	23,00	40	50	46,48	média 02C e 04C	6,10
E4	549,00	14,00	36	50	37,64	04C	3,71
E5	549,00	15,00	38	50	47,59	04C	3,98
E6	549,00	14,00	35	50	37,64	04C	3,71
E7	549,00	14,00	23	50	37,64	04C	3,71
E8	549,00	14,00	48	50	95,39	03C	3,71
E9	549,00	17,00	59	50	78,55	04C	4,51
E10	549,00	14,00	56	50	95,39	03C	3,71
E11	549,00	14,00	46	50	51,33	05C	3,71
E12	549,00	14,00	20	50	95,39	03C	3,71
E13	549,00	14,00	44	50	95,39	03C	3,71
E14	549,00	14,00	44	50	95,39	03C	3,71
E15	549,00	14,00	36	50	51,33	05C	3,71
E16	549,00	14,00	24	50	51,33	05C	3,71
E17	553,50	22,00	8	50	12,99	02C	5,83
E18	553,50	21,00	6	50	10,88	02C	5,57
E19	553,50	23,00	13	50	30,30	02C	5,57
E20	553,50	23,00	29	50	30,30	02C	5,57
E21	553,50	20,00	27	50	23,82	01C	5,30
E22	553,50	19,00	9	50	23,82	01C	5,04
E23	553,50	19,00	21	50	23,82	01C	5,04
E24	553,50	19,00	14	50	23,82	01C	5,04
E25	553,50	19,00	18	50	23,82	01C	5,04
Comprimento total das estacas:		440,00				Volume total:	115,57

VOLUME I – LEVANTAMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS  
TOMO I – PROJETO GEOTÉCNICO DA EEB-FINAL



## 6 CÁLCULO DE TERRAPLENAGEM

		EEE FINAL CARATINGA			FL.	
		Título: TERRAPLENAGEM				
		Número: CALCULO DE VOLUME DE TERRAPLENAGEM				
		Número: TERRAPLENAGEM				
VOLUME DE ATERRO						
ESTACAS	ÁREAS (m <sup>2</sup> )	SEMI-ÁREAS (m <sup>2</sup> )	DISTÂNCIAS (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )	VOL. ACUM. (m <sup>3</sup> )	
0 + 2,83	0,00					
0 + 4,75	86,45	43,23	1,92	82,99		82,99
0 + 5,00	86,21	86,33	0,25	21,58		104,57
0 + 10,00	80,01	83,11	5,00	415,55		520,12
0 + 15,00	77,80	78,91	5,00	394,53		914,65
0 + 16,77	77,61	77,71	1,77	137,54		1052,19
0 + 19,53	35,41	56,51	2,76	155,97		1208,15
1 + 0,00	34,74	35,08	0,47	16,49		1224,64
1 + 5,00	27,78	31,26	5,00	156,30		1380,94
1 + 10,00	21,38	24,58	5,00	122,90		1503,84
1 + 15,00	15,54	18,46	5,00	92,30		1596,14
2 + 0,00	10,24	12,89	5,00	64,45		1660,59
2 + 5,00	5,51	7,88	5,00	39,38		1699,97
2 + 10,00	1,32	3,42	5,00	17,08		1717,04
2 + 15,00	0,00	0,66	5,00	3,30		1720,34
<b>Volume total (m<sup>3</sup>)</b>					<b>1.720,34</b>	

Excluindo o volume da própria elevatória de 83,56m<sup>3</sup>, assim o volume do aterro= 1.636,78m<sup>3</sup>