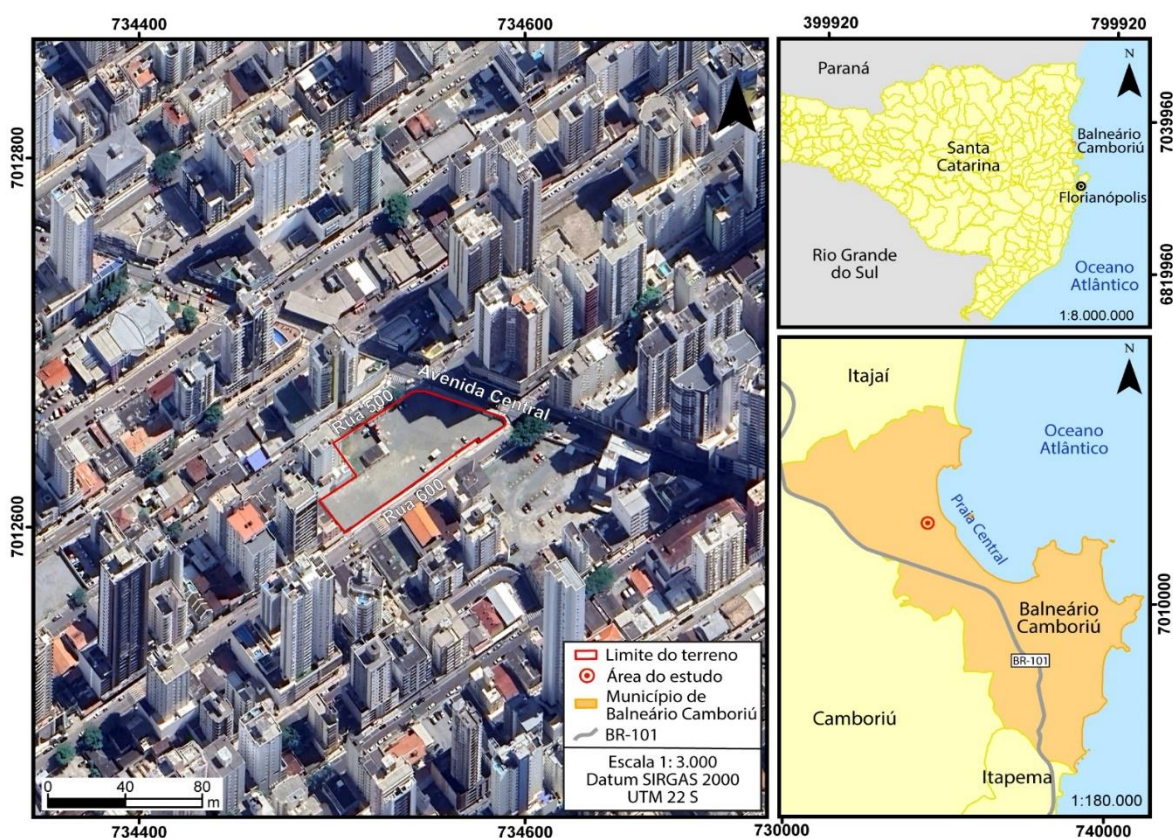


COMPORTAMENTO HIDROGEOLÓGICO DE AQUÍFERO COSTEIRO POR INTRODUÇÃO CONSTRUTIVA DE FUNDAÇÕES E PAVIMENTO SUBSOLO, EM ÁREA URBANA CONSOLIDADA – BALNEÁRIO CAMBORIU/SC.



REQUERENTE: CENTRAL TOWER EMPREENDIMENTOS SPE LTDA

Projeto: CENTRAL TOWER, Balneário Camboriú SC.

BALNEÁRIO CAMBORIU/SC, NOVEMBRO 2024.

**JOÃO GUILHERME WEGNER DA CUNHA.
GEÓLOGO – CREA/SC 35.089-9**

1.0 - INTRODUÇÃO:

O presente Laudo Hidrogeológico busca fundamentar a possibilidade construtiva de bloco de fundação e pavimento subsolo no **Empreendimento CENTRAL TOWER**, tendo por base Projeto Arquitetônico apresentado, Levantamento Geofísico realizado pelo método de Resistividade Elétrica, Teste de Bombeamento e instalação de 04 (quatro) Poços de Monitoramento, instalados, análise de Perfis de 09 (nove) furos de Sondagem e Projeto de Rebaixamento Temporário do Lençol Freático proposto, com duração prevista de 550 (quinhentos e cinquenta) dias, em terreno situado na Avenida Central entre a rua 500 e 600 no centro da cidade de Balneário Camboriú estado de Santa Catarina (figura 01), onde a Empresa Central Tower Empreendimentos SPE LTDA busca a implantação futura do **Empreendimento CENTRAL TOWER**.

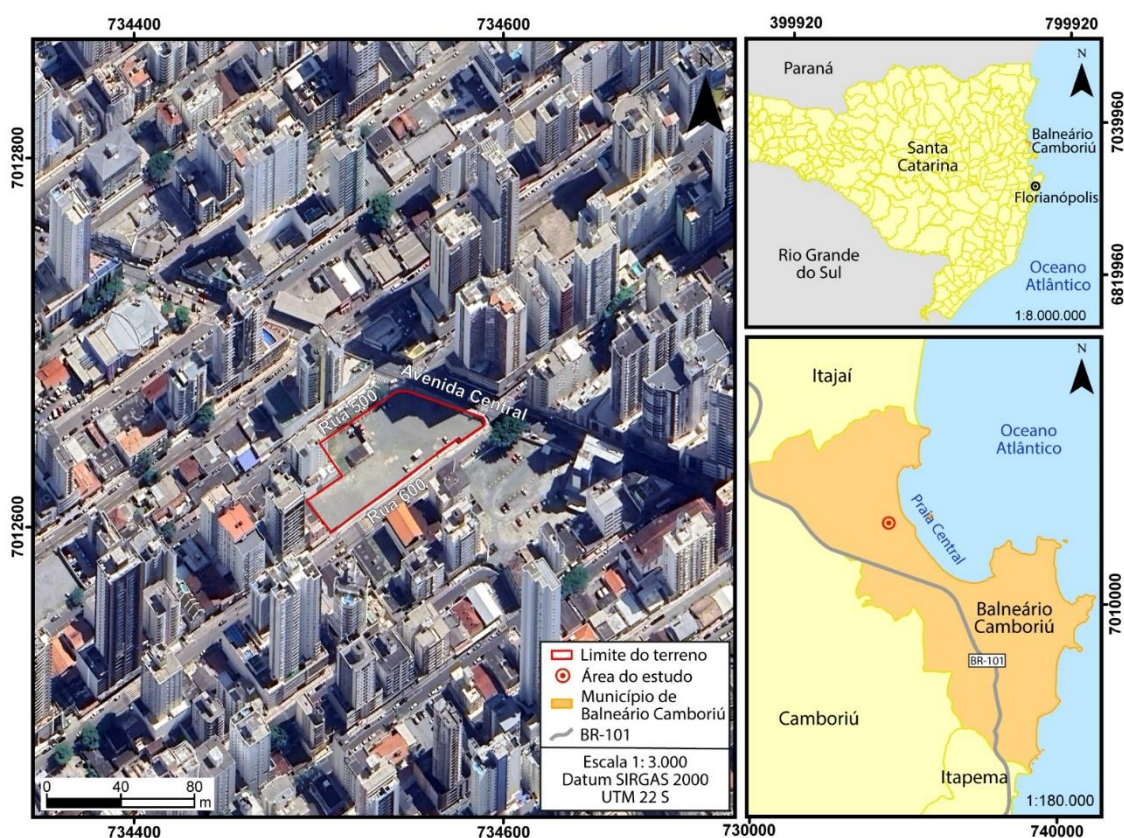


Figura 01 – Localização do Terreno Avenida Central entre a rua 500 e 600. (Fonte – Google Earth 2024).

A evidente consolidação da urbanização de Balneário Camboriú/SC, cidade costeira do Litoral Centro- Norte de Santa Catarina, e sua consequente verticalização, atribui-se a necessidade de procedimentos diversos para rebaixamento do lençol freático local, na realização de escavações, para implantação construtiva de pavimentos subsolo e fundações previstas na construção destes Empreendimentos.

O enfoque do presente Estudo Técnico, conforme descrito, será concentrado nos aspectos geológicos e Hidrogeológicos desta porção da planície costeira, de Balneário Camboriú/SC, tendo por base a leitura de diferentes perfis descritivos de Sondagem Mista e CPT, realizados pela Empresa SOLO Sondagem (2023), assim como nos perfis descritivos dos Poços de Monitoramento e de Bombeamento da Empresa Laborgeo Petrografia e Geologia (2024), nos

dados contidos nos perfis Geoeletricos de Caminhamentos e SEVs apresentados pela empresa Guapigeo Geofisica (2024) e na proposta de rebaixamento temporário do NF local, desenvolvido pela empresa BornSales Engenharia (2024), buscando avaliar, eventuais impactos, oriundos da introdução construtiva de pavimento Subsolo e do bloco central de fundação.

2.0– DA GEOLOGIA DESTES TERRENOS:

2.1- DA GEOLOGIA DA ÁREA OBJETO E ENTORNO IMEDIATO

Ao discorrer sobre a geologia de Balneário Camboriú, Horn, et al (2020), descreve, **com relação aos depósitos do Holoceno, que o Depósito marinho praial associa-se aos sedimentos atuais das praias Estaleirinho, Estaleiro, Pinho, Taquaras, Taquarinhas, Laranjeiras e Balneário Camboriú.**

Segundo os autores os Depósitos eólicos ocorrem à retaguarda das praias do Estaleirinho, Estaleiro, Taquaras e Taquarinhas, na forma de mantos eólicos e dunas frontais móveis, semifixas e fixas.

O Depósito paludial aflora em ambas as margens do rio Camboriú, na sua foz junto à praia de Balneário Camboriú, representando vegetação típica de mangues e marismas.

PERÍODO	ÉPOCA		IDADE	Ma AP	DEPÓSITO / LITOLOGIA
QUATERNÁRIO	HOLOCENO				Depósito tecnogénico
					Depósito eólico
					Depósito paludial
				0,0117	Depósito marinho praial
	PLEISTOCENO	SUPERIOR	0,126	Depósito eólico	
	INDIFERENCIADO				Depósito aluvial
					Depósito de leque aluvial
				2,588	Depósito coluvial
PRÉ-QUATERNÁRIO			?	Embasamento indiferenciado	

Figura 02 – Coluna Estratigráfica de Horn, et al (2020) para Balneário Camboriú/SC.

No tocante as unidades do Pleistoceno, estas seriam representadas pelo Depósito eólico do Pleistoceno superior, que aflorariam no setor central das praias do Estaleirinho, Estaleiro e Taquaras, configurando mantos e coberturas eólicas sobre os demais depósitos quaternários.

Dentre as unidades do Quaternário Indiferenciado, o Depósito coluvial ocorre à jusante das encostas do Embasamento indiferenciado, na forma de tálus e rampas coluviais. O Depósito de leque aluvial encontra-se associado às encostas dos depósitos coluviais, na forma de leques, aflorando no setor central e próximo às praias da costa Brava. O Depósito aluvial ocorre encaixado na drenagem do rio Camboriú, norte do município.

Os Depósitos tecnogênicos tem origem nos sedimentos heterogêneos que constituem os aterros mecânicos da duplicação da BR 101, que se estende por 9 km na área do município de Balneário Camboriú, atravessando as rochas do Embasamento indiferenciado e os depósitos paludial e aluvial.

Destaca igualmente os materiais que foram dragados do rio Camboriú e que serviram para alimentação do sul da praia de Balneário Camboriú, que se encontrou em processo erosivo, bem como, as rochas do Embasamento indiferenciado que foram utilizadas na implantação do molhe artificial em continuidade à drenagem do rio Camboriú.

Igualmente em todo o entorno antropizado, aponta os depósitos tecnogênicos adotados nos aterros e arruamentos da porção Central de Balneário Camboriú, densamente ocupada,

Segundo Caruso Jr. & Araújo (1999), o embasamento cristalino local corresponde ao Complexo Granulítico de Santa Catarina, identificado nas Sondagens, compondo a ossatura local que sustenta o pacote sedimentar da planície local, no qual predominam gnaisses de alto grau metamórfico, ao Complexo Brusque, unidade que representa sequência predominantemente pelítica metamorizada, constituída por xistos e filitos, além de gnaisses e quartzitos, e ao Granitóide Valsungana, cujos corpos plutônicos variam de monzogranitos a sienogranitos, com textura porfírica.

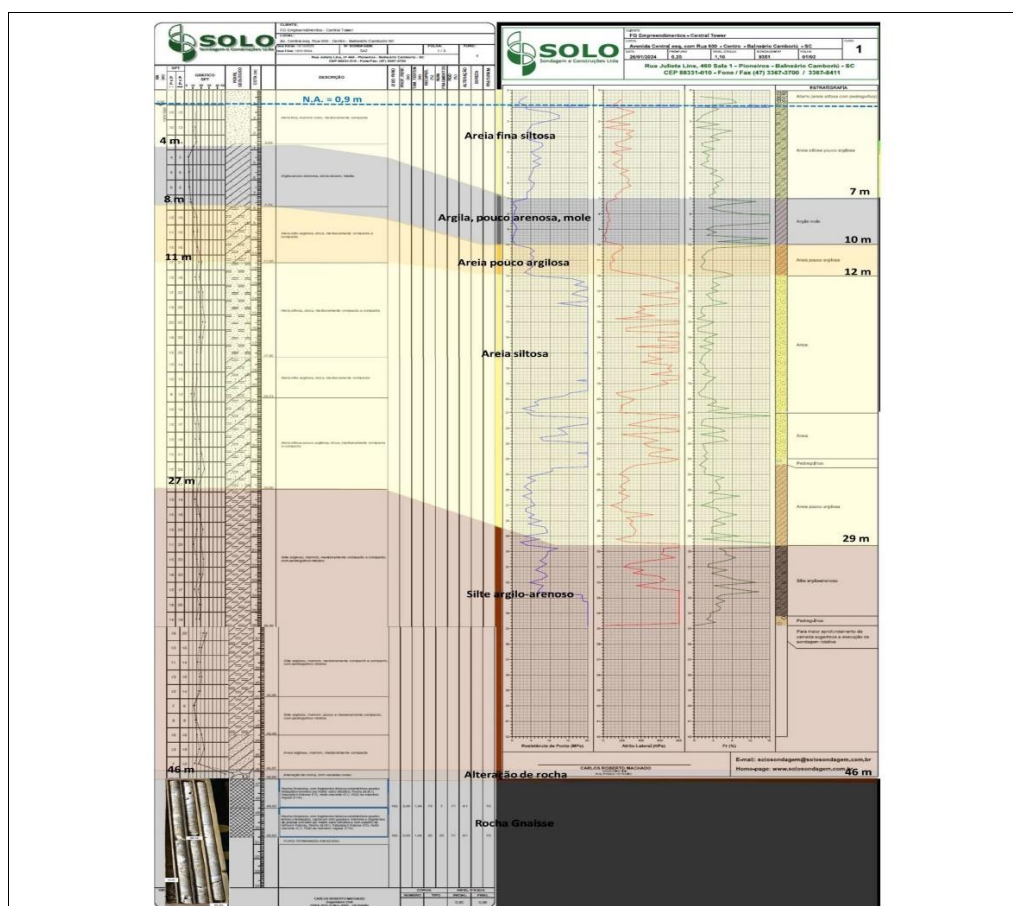


Figura 03 – Perfil Sondado no terreno, com descrição do pacote sedimentar da planície sobreposto ao Embasamento local.

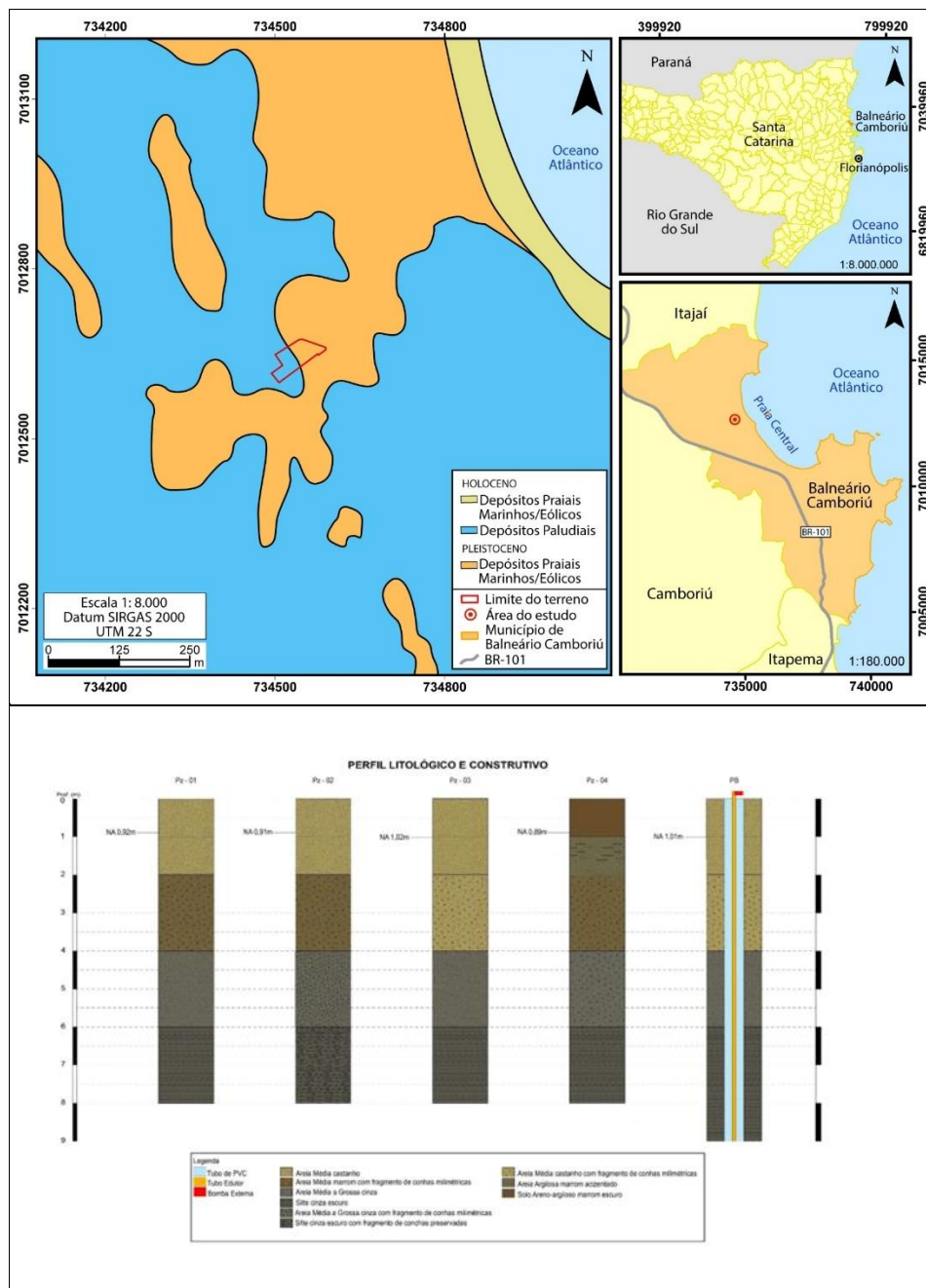
Já a planície costeira local, parte emersa da Bacia de Santos no litoral centro-norte catarinense, é constituída principalmente por depósitos dos sistemas deposicionais continental, associado às encostas dos maciços rochosos, e transicional, associado às variações relativas do nível do mar ocorridas durante o Quaternário (Horn Filho et al. 2014).

De acordo com o Mapa Geológico da Folha Itajaí – SC, de Caruso Jr. & Araújo (1999), na área de estudo e no seu entorno predominam depósitos sedimentares paludiais, de idade holocênica, e

depósitos praias marinhos/eólicos pleistocênicos, ambos relacionados ao sistema laguna-barreira como reflexo da dinâmica costeira do Quaternário (Figura 02).

Os Depósitos Paludiais, de origem flúvio-lacustre, são caracterizados por sedimentos argilo-arenosos, registrando a ocorrência de antigas áreas alagadiças.

Já nos Depósitos Praias Marinhos/Eólicos, cuja gênese está relacionada à transgressão marinha pleistocênica, predominam areias marinhas quartzosas, por vezes recobertas por um pacote de areias eólicas, ambas de coloração avermelhada devido ao enriquecimento da matriz pelo conteúdo de argilas e óxidos de ferro, durante os processos pedogenéticos.



Figuras – 03/04 – Recorte do Mapa Geológico da Folha Itajaí, Caruso Jr. & Araújo (1999) e perfis de Sondagens dos Poços de Monitoramento e de Bombeamento executados pela Empresa Laborgeo Petrografia e Geologia (2024), compatíveis.

3.0 – INDICAÇÃO DE SALINIDADE NA ÁGUA ATRAVÉS DA RESISTIVIDADE.

Objetivando tratar uma questão recorrente que surge diante dos necessários trabalhos de rebaixamento do NF para introdução construtiva de Fundações e pavimentos subsolo, em regiões costeiras e a eventual presença de Cunha Salina, ou ainda, da possibilidade do cone de rebaixamento adotado interferir na presença desta, buscar-se-á resumir o esclarecimento sobre valores de resistividade obtidos nos trabalhos de geofísica pelo método de eletrorresistividade.

De plano vale ressaltar que há uma certa disparidade sobre valores limites adotados para relação água X salinidade (considerada água doce, salobra e salgada) porém se fizermos uma média destes valores, limitará a água do mar (salgada) até um valor de 0,5 ohm/m podendo em alguns casos chegar a 1,0 ohm/m, a salobra de até 9,0 ohm/m e a água doce pode chegar a mais de 100 ohm/m.

A Resolução n° 357 do CONAMA de 17 de março de 2005, classifica as águas segundo sua salinidade considerando os seguintes parâmetros: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5‰ são consideradas águas doces; com salinidade entre 0,5‰ à 30‰ águas salobras e com salinidade superior a 30‰ águas salinas.

Segundo Gallas, 2000 (fig.07) a resistividade associada ao teor de 0,5 g/l de salinidade é aproximadamente 8,5 ohms/m (fig.07). Porém, vale ressaltar, que outros fatores influenciam essa relação, como por exemplo a temperatura.

A resistividade de 8,5 ohm/m, adotada pelo Conama, é para uma concentração de NaCl a 18°C (graus Celsius), logo, para temperaturas distintas podem ser obtidos outros valores de resistividade para a mesma concentração salina.

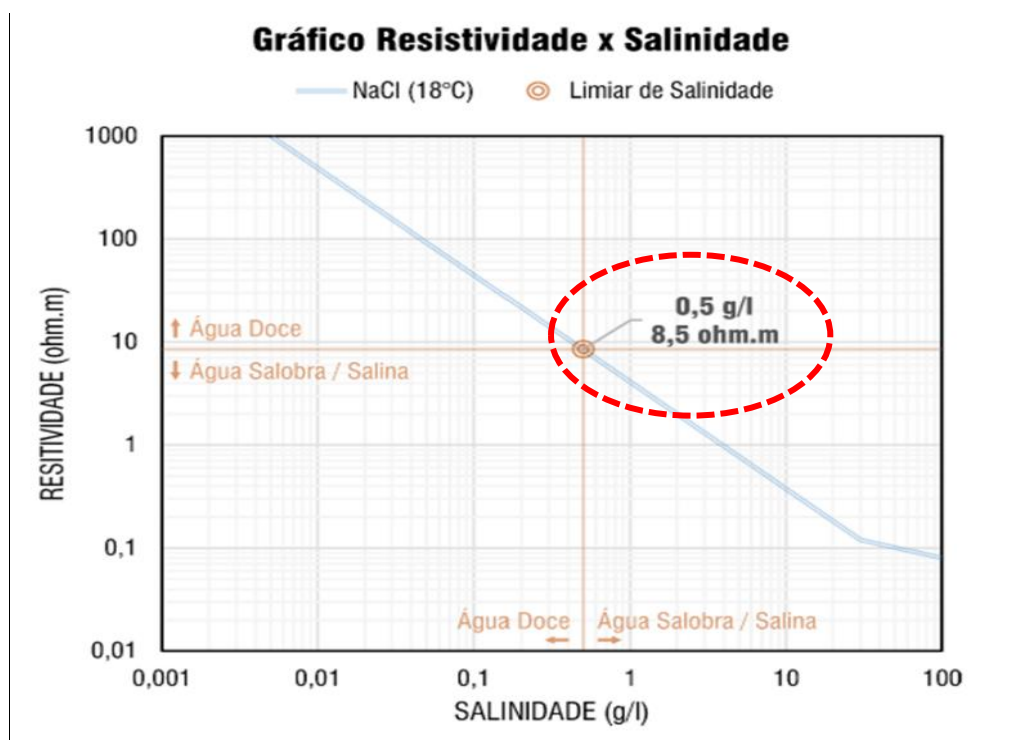


Figura 05 – Gráfico relação Resistividade/ teor em sais (Gallas, 2000).

Conforme publicação da Geophysical Properties of The Near Surface Earth Electrical Properties, na tabela modificada por Palacky (1987) Resistivity Characteristics of Geological Targets os valores identificados são os seguintes: **Água salgada 0,1-1,0 ohm/m; água salobra 1,0 -10 ohm/m e água doce de 10 -100 ohm/m**, portanto, em nossos estudos consideramos **um limite mais restritivo, de 9,0 ohm/m para a água salobra, em relação ao padrão adotado pelo Conama.**

Cabe aqui ressaltar que o estudo geofísico, é uma ferramenta de auxílio aos trabalhos que envolve as geociências e é exclusivamente interpretativa, que associada a outras ferramentas, tais como, perfis de sondagem, conhecimento regional e local da hidrologia, geologia e estrutural atuantes, se torna uma excelente ajuda para quaisquer objetivos que envolvam o reconhecimento de subsuperfície, no presente caso, **a diferenciação de águas contidas no subsolo, embasadas em suas salinidades, onde quanto maior a salinidade menor será a resistividade indicada, devido a maior condutibilidade presente.**

Para que se proceda a correta interpretação dos dados obtidos no Levantamento Geofísico, por eletrorresistividade, cumpre recordar, na leitura dos Perfis e Slices apresentados que estes **revelaram apenas nas SEVs 4 e 5**, a presença das “assinaturas”, ou, **resistividades associadas, de águas salobras, esta, em profundidades que não serão objeto de intervenção, sequer pelo cone de rebaixamento gerado.**

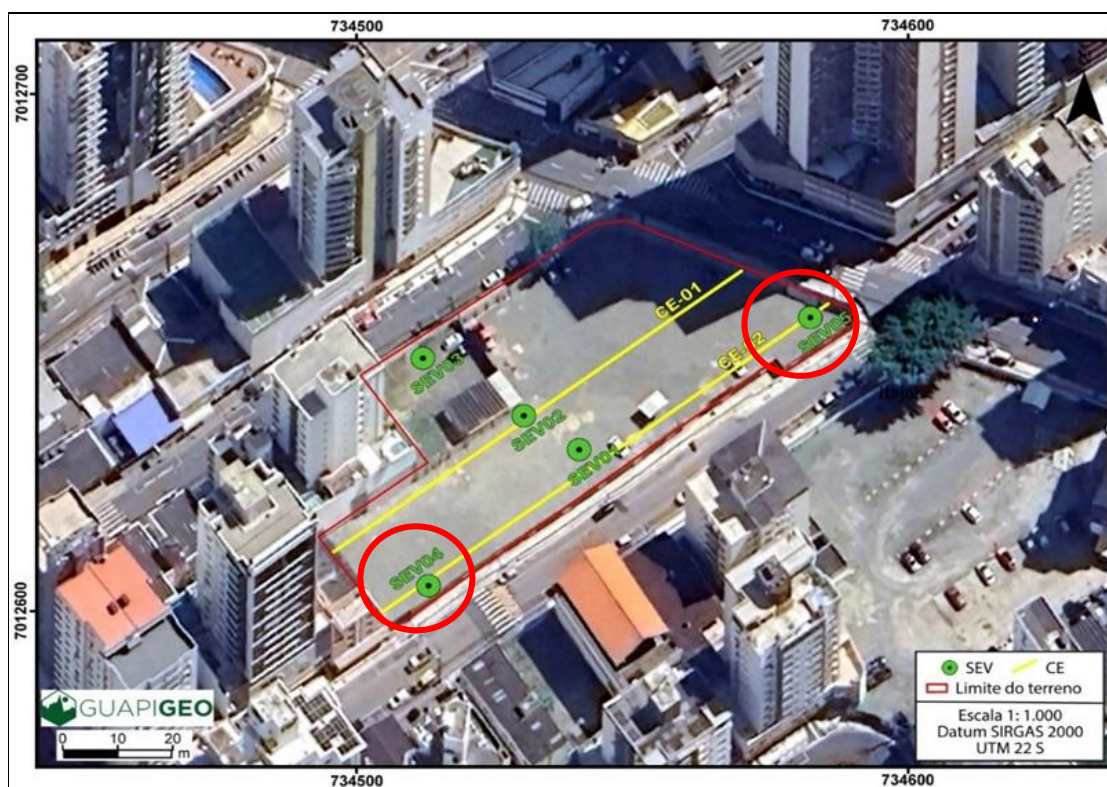


Figura 06 – Geofísica por Eletrorresistividade, indicação das SEVs 4 e 5 (Guapigeo, 2024).

Nos setores Central e Centro – Norte do Estado de Santa Catarina, tal como observado na área de estudo, os depósitos quaternários são típicos do sistema deposicional laguna-barreira, onde são evidenciados sedimentos arenosos do ambiente praias da barreira, direcionado para o oceano e, sedimentos areno lamosos do ambiente paleolagunar da retrobarreira voltada para a região continental.

Considerada a intervenção construtiva proposta para o **Empreendimento Central Tower**, assim como avaliado o modelo de rebaixamento sugerido, com uso de ponteiros filtrantes, entendemos não haver riscos de “contaminação” do aquífero livre por atingimento da “cunha salina”, cuja **“assinatura” da presença de água salgada não foi identificada no Levantamento Geofísico realizado, conforme demonstram as Sondagens Elétricas (SEVs 04 e 05) abaixo, até uma profundidade de 35,00 metros.**

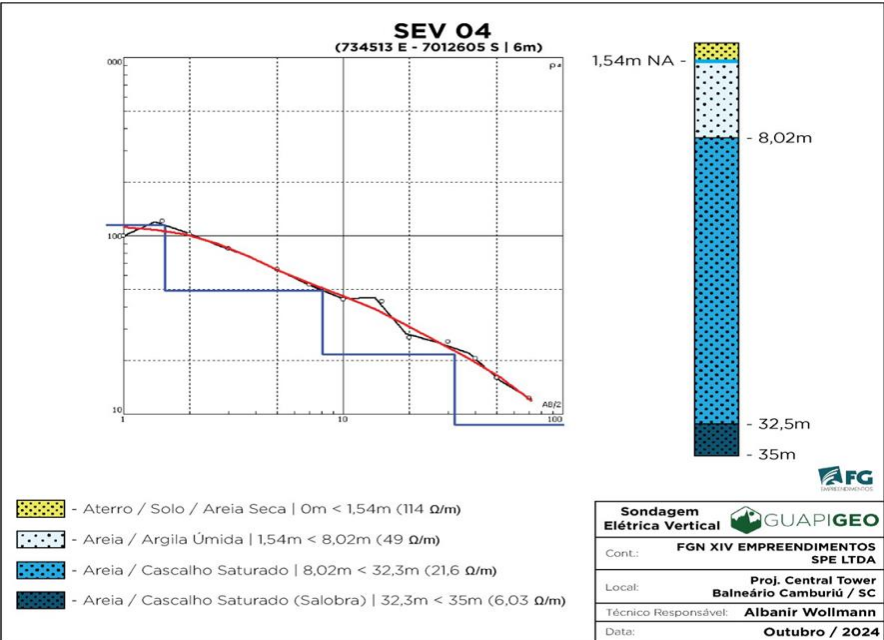


Figura 07 – Geofísica por Eletrorresistividade, perfil da SEVs 4 onde, a partir de 32,3 metros, os dados revelam resistividade com valor dentro do ranger de água salobra (6,03 ohm.m.), até a profundidade final de 35 metros (Guapigeo, 2024).

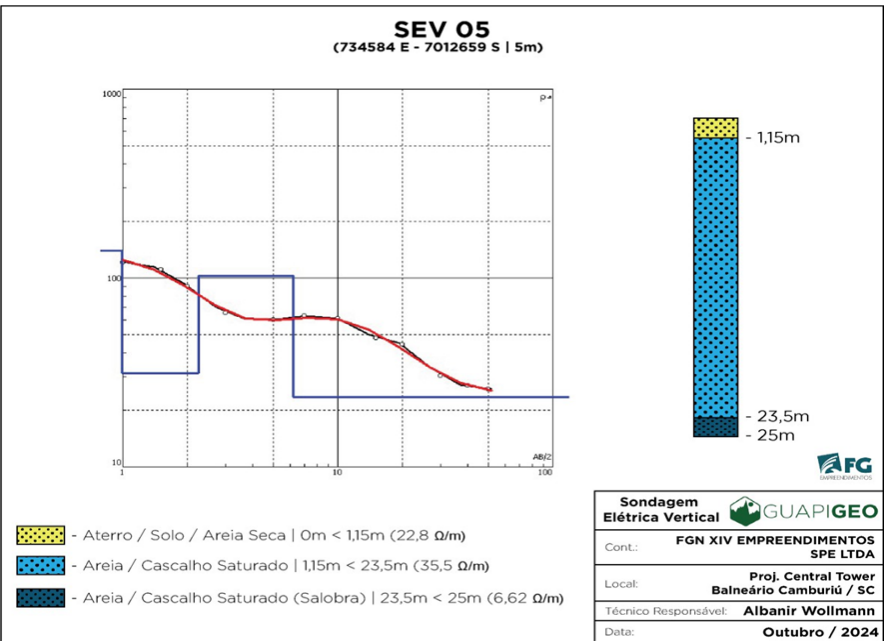


Figura 08 – Geofísica por Eletrorresistividade, perfil da SEV 5 a partir de 23,5m a resistividade revelou um valor de 6,62 ohm.m; demonstrando a presença de água salobra nos sedimentos (Guapigeo, 2024).

O comportamento entre a água doce e a água salgada em zonas costeiras tem sido alvo de vários estudos (e.g. MERCER et al. (1980), FIGUEIREDO (1990), SANFORD e POPE (2009), POULSEN et al. (2009)).

Até ao século XIX pensava-se que a água salgada ocorreria a uma profundidade correspondente ao nível da água do mar, ou seja, que o limite entre a água doce e a água salgada (interface) seria horizontal. Terá sido DUCOMMUN (1928) o primeiro a demonstrar que a água salgada subterrânea ocorria a profundidades superiores ao nível do mar.

No entanto, a razão que exprime a posição da interface é atribuída a GHYBEN (1889) e a HERZBERG (1901), **que demonstraram que a profundidade da água doce abaixo do nível do mar é cerca de 40 vezes a altura do nível freático acima do nível do mar.**

Tal significa que a interface é inclinada e a sua inclinação depende do gradiente hidráulico do aquífero.

Neste sentido e corroborando GHYBEN (1889) e HERZBERG (1901), quanto a salinidade investigada no subsolo do terreno do **Central Tower**, **conclui-se que não restou identificada a presença de Cunha Salina, até a profundidade investigada de 35 metros**, somente a presença de água salobra, em dois pontos localizados na extremidade do terreno com a rua 600 (vide fig.06).

4.0 - DO REBAIXAMENTO PROMOVIDO NO TESTE DE BOMBEAMENTO:

O Empreendimento a ser locado na esquina das Ruas 500 e 600, com a Avenida Central em Balneário Camboriú, trata-se de um residencial misto, multifamiliar e de serviços, que contará com uma torre de 81 pavimentos, possuindo um pavimento subsolo.

A magnitude e a definição do tipo de sistema de rebaixamento a ser adotado no Teste de Bombeamento, levaram em consideração:

a) da permeabilidade e a transmissividade do perfil estudado, considerando o fato de que esta pode ser variável, em regiões próximas;

Os parâmetros hidrogeológicos, obtidos no Teste de Bombeamento, realizado pela **Empresa Laborgeo Petrografia e Geologia (2024)**, foram a Transmissividade (T), expressa em m^2/dia **$T = 434,37 m^2/dia$** ; a permeabilidade (K), expressa em m/dia , **$K = 48,26 m/dia$ ou $0,056 cm/seg.$** e o coeficiente de armazenamento (S), que é um número adimensional, onde **$S = 1,16$** , indicando ainda um **Raio de influência**, no referido teste, onde **$R = 8,03 m$** .

O gráfico do rebaixamento efetuado/ pelo tempo (Figura), é utilizado para se obter importantes fatores utilizados nos cálculos, como o t_0 e Δd .

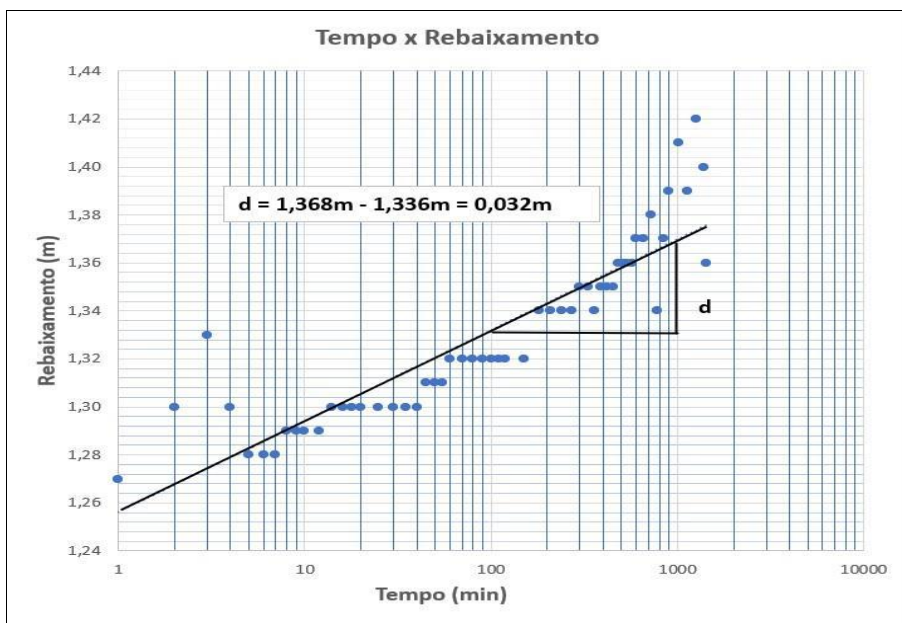


Figura 09: Gráfico do rebaixamento pelo tempo, obtido no Teste de Bombeamento realizado pela Empresa Laborgeo Petrografia e Geologia (2024).

O pacote geológico investigado, que representa a porção do subsolo, objeto de futuro rebaixamento do Nível Freático (NF) apresentou um comportamento hidrogeológico de aquífero livre, com boa porosidade e média permeabilidade, que consegue transmitir água do subsolo sob a ação de uma pressão externa de bombeamento.

A reposição do nível d'água, no Poço de Monitoramento avaliado, após o término do bombeamento foi considerada rápida (eficiente) devido a boa transmissividade no pacote sedimentar avaliado.

O gráfico abaixo, Figura 09 mostra a evolução da recuperação do nível d'água no poço de bombeamento (Pb) após a finalização do teste, de 24 horas, indicando que, em 50 minutos o Pb recuperou 100 % do nível freático inicial (NF).

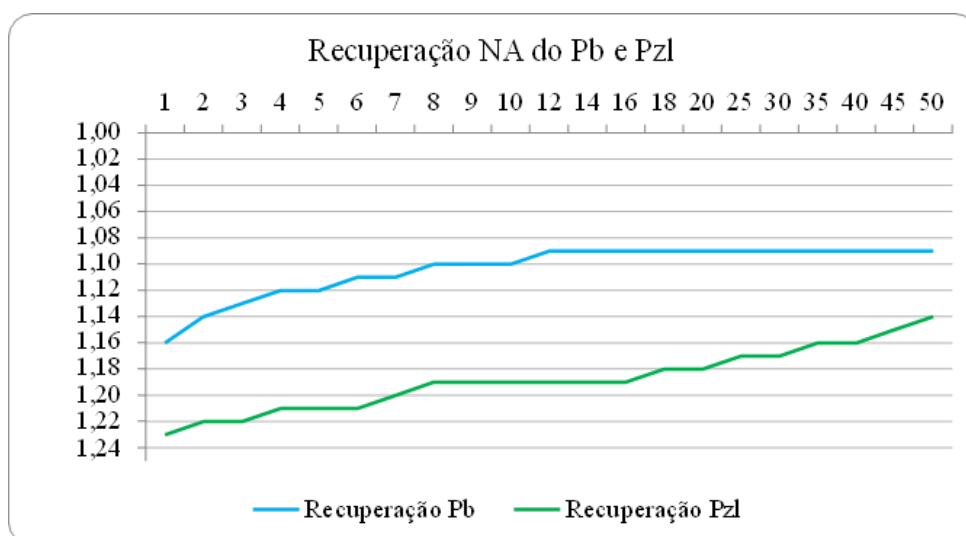


Figura 10: Gráfico da recuperação do NF, pelo tempo, no Poço de Bombeamento (Pb) e no Poço de Monitoramento adotado, após o encerramento do Teste de Bombeamento, definido em 50 minutos.

Segundo o relatório do Teste de Bombeamento realizado pela Empresa Laborgeo Petrografia e Geologia (2024), o raio de influência foi calculado pela fórmula de Jacob que utiliza os parâmetros Transmissividade (T), Coeficiente de Armazenamento (S) e tempo de bombeamento, apresentando o valor de 8,03 metros.

Durante o ensaio de bombeamento, enquanto o poço de bombeamento apresentou rebaixamento de 1,36 m, o poço de monitoramento, localizado a 5,35 m de distância, apresentou rebaixamento de 1,23 m.

A Figura 11, abaixo, apresenta o raio de influência do referido teste, que restou considerada como sendo uma influência no entorno dos limites do terreno. No projeto de rebaixamento do NF a ser proposto, as ponteiros e bombas utilizadas, serão instaladas e distribuídas no interior do imóvel.

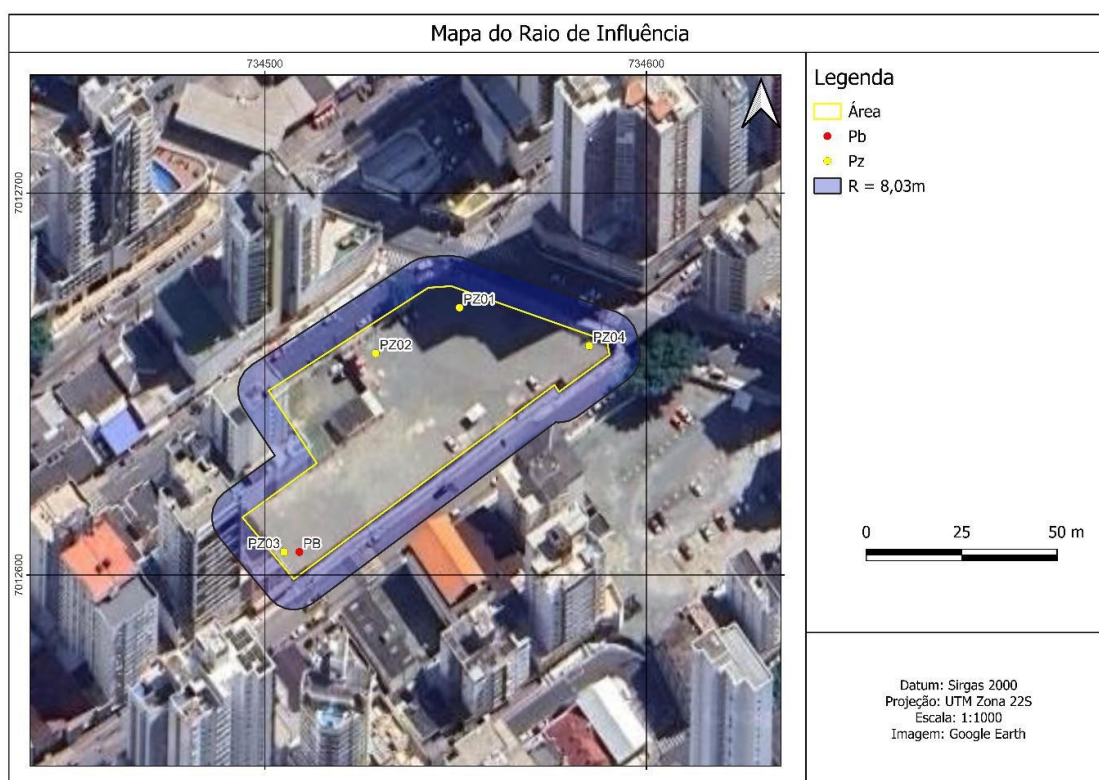


Figura 11: Raio de influência, medido no Teste de Bombeamento, apresentando o valor de 8,03 metros no entorno da propriedade investigada.

Tais avaliações, como o Teste de Bombeamento realizado, são necessárias para qualquer que seja o sistema de rebaixamento utilizado, pois ele confere uma diminuição das pressões neutras do solo devido à retirada de água e, conseqüentemente, um aumento nas pressões efetivas, podendo algumas vezes causar recalques nas estruturas situadas no raio de influência do rebaixamento, recalques estes que acontecem devido à acomodação (adensamento) do solo após a saída de água.

Estes recalques tornam-se mais intensos principalmente se tais estruturas atingidas estiverem sobre solos do tipo argila mole ou areia fofa, não registrados nas sondagens e tampouco nos rebaixamentos registrados no entorno direto da área de estudos, densamente ocupada.

O contínuo processo de impermeabilização do solo, em áreas urbanas, algumas vezes provoca uma drástica redução do volume de água infiltrada no solo e limita, ainda mais, a lenta recarga natural dos aquíferos subterrâneos.

Quando a exploração de água subterrânea excede a capacidade de recarga natural do aquífero é inevitável o rebaixamento de seu nível, por vezes até o esgotamento da água nele armazenada, fato que pode ser monitorado diante da eventual subsidência do solo ou pela penetração da água do mar, **esta, descartada pela leitura das Assinaturas de eletrorresistividade, evidenciadas nos Caminhamentos (CE) e Sondagem Elétrica verticais (SEV) no Estudo Geofísico, realizado pela Empresa Guapigeo (2024).**

No presente caso o avistamento do Nível Freático local, restou evidenciado, em todos os 04 (quatro) Poços de Monitoramento e no Poço de Bombeamento (Pb), em profundidades que variaram entre **0,89 m no (PZ4)** e **1,01 m, no (Pb)**, assim como nas sondagens, por métodos diretos e indiretos, realizados, e apontam para um nível freático razoavelmente elevado nas porções avaliadas do terreno, compatível com demais informações existentes, deste aquífero livre.

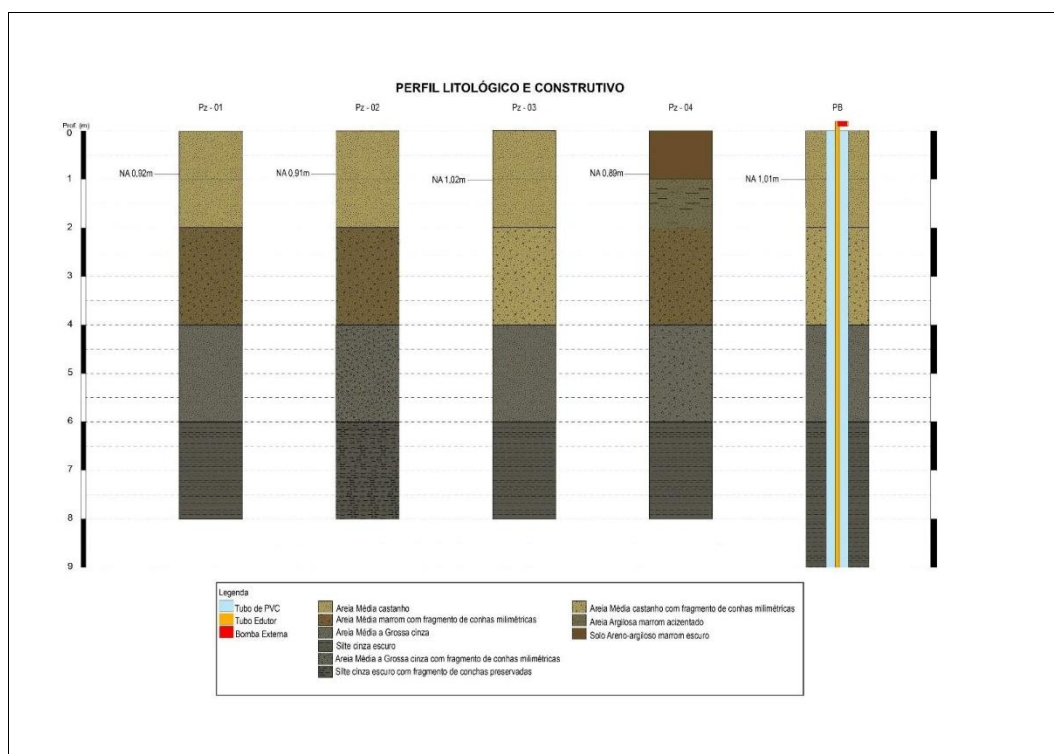


Figura 12 – Determinação do Nível Freático nos Perfis Litológicos/Construtivos dos Poços de Monitoramento e de Bombeamento, originários do Relatório Final, do Estudo Hidrogeológico, Teste de Rebaixamento realizado pela Empresa Laborgeo Petrografia e Geologia (2024).

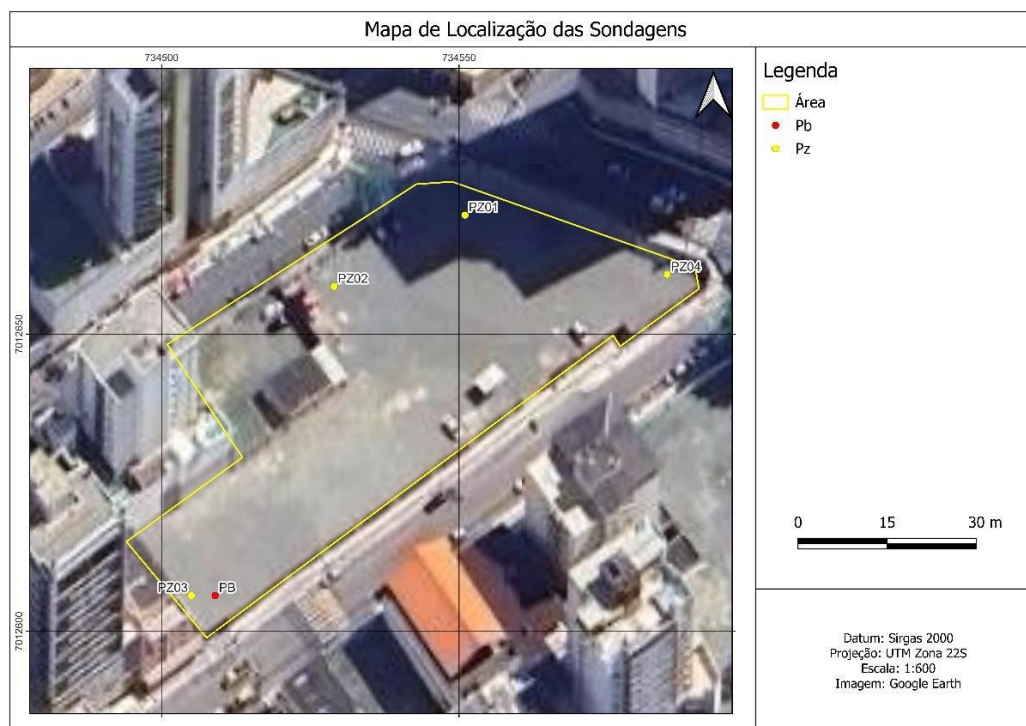


Figura 13 – Localização dos Poços de Monitoramento e de Bombeamento, originários do Relatório Final, do Estudo Hidrogeológico, do Teste de Rebaixamento realizado pela Empresa Laborgeo Petrografia e Geologia (2024).

Os poços foram executados pelo método de cravação e revestidos com tubo de PVC, ranhurados em determinadas profundidades, e envoltos nestes pontos, por manta geotêxtil e com tampa no fundo.

Na **Figura 13** está indicada a localização dos poços instalados no terreno, contemplando a instalação de 01 (um) poço de bombeamento (Pb) com 9 metros de profundidade e 04 (quatro) poços de monitoramento, (Pz) com 8 metros de profundidade no PZ1, PZ2 e Pz3 e Pz4.

5.0 – DOS SISTEMAS DE REBAIXAMENTO TEMPORÁRIO DO LENÇOL FREÁTICO

Os sistemas de rebaixamento consistem na redução do nível piezométrico fazendo com que a zona aerada seja superior à saturada.

Qualquer que seja o método utilizado é importante compreender que a diminuição das pressões neutras causa o aumento das pressões efetivas do solo que, por sua vez, causam recalques no raio de influência do rebaixamento.

5.1 - BREVE HISTÓRIA DO REBAIXAMENTO DO NF.

A utilização e o manejo de águas subterrâneas precederam muito antes a compreensão de sua origem, ocorrência e movimento (TODD, 1967), remontando a Idade Antiga, como os registros de poços para abastecimento e de túneis de água subterrânea, “canats”, construídos por volta de 800 A.C., na Pérsia e no Egito (TOLMAN, 1937).

As bases do conhecimento para a compreensão das águas subterrâneas foram lançadas nos campos da hidrologia e da geologia, respectivamente, nos séculos XVII e XVIII, o que justifica a ocorrência de abordagens interdependentes entre essas duas áreas na literatura técnica.

O estudo do ciclo hidrológico sublinhou dados quantitativos a respeito da recarga e da origem dos fluxos subterrâneos, enquanto a geologia sedimentou a compreensão da ocorrência desses fluxos em certos substratos de solos e formações rochosas.

Segundo TODD (1967): ***“a geologia governa a ocorrência e a distribuição das águas subterrâneas, a hidrologia determina o suprimento de água para o solo, e a mecânica dos fluidos explica o seu movimento”***.

Apenas no século XIX, ocorreram avanços na elaboração de modelos matemáticos para estudo do fluxo de água, a partir da interação entre a geotecnia e da hidráulica, diante da crescente necessidade de perfuração de poços artesianos para abastecimento das cidades europeias.

Nesse contexto, o engenheiro hidráulico Henry Darcy escreveu seu Tratado de 1856, onde por Lei homônima estabelece o mecanismo de fluxo de água por meio do solo, o que hoje se conhece por Lei de Darcy, baseado nos princípios da Mecânica dos Fluidos, utilizada até hoje para cálculo da vazão do fluxo de água em solos.

Durante esse século, houve ainda contribuições importantes de diversos autores dentro deste tema, como Boussinesq, G. A. Daubrée, J. Dupuit, P. Forchheimer e A. Thiem.

É importante ressaltar, portanto, que o embasamento teórico e matemático acerca de águas subterrâneas foi utilizado a priori para aplicação prática em poços, sendo posteriormente adaptado para projetos de sistemas de rebaixamento em canteiros de obra, o que pode explicar as fórmulas e métodos de cálculo utilizados nesses sistemas.

A exemplo disso, o primeiro registro de um sistema de rebaixamento data de 1838, anterior à formulação da Lei de Darcy, na obra do túnel ferroviário de Kilbsby (Inglaterra), no qual a água foi rebaixada a partir de poços verticais “afogados” adjacentes ao túnel. Depois disso, praticamente 50 anos se passaram sem avanços em sistemas de rebaixamento (MANSUR; KAUFMAN, 1962).

Os sistemas de ponteiros filtrantes foram utilizados, pela primeira vez, nos Estados Unidos, por volta de 1900. Contudo, apenas na década de 1920, os estudos quanto ao projeto, métodos e instalação desses sistemas se desenvolveram.

Por outro lado, na Europa, foram adotadas principalmente soluções de poços profundos, com grandes diâmetros e espaçados em distâncias regulares, cujo emprego se desenvolveu diante da evolução das tecnologias de bombas submersas e injetoras.

Na atualidade, apesar das tecnologias de rebaixamento não terem evoluído significativamente, existem diferentes ferramentas e métodos de cálculo – como o método dos elementos finitos (MEF) - para projeto e controle de rebaixamentos de aquíferos.

Mesmo assim, é comum encontrar problemas relacionados ao emprego de rebaixamento em obras, o que causa atrasos, prejuízos e necessidade de reavaliação de projetos. A exemplo disso, grande proporção de “claims” em contratos de obras são provenientes de problemas quanto à água subterrânea (POWERS, 2007).

Portanto, o planejamento da escavação em obras depende fundamentalmente das previsões de bombeamento do sistema de rebaixamento, seja em relação ao tempo previsto para rebaixar o nível d'água ao nível desejado, e quanto à garantia de que este nível permaneça na cota desejada para segurança da operação da escavação.

5.2 - DO REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO PROPOSTO NO CENTRAL TOWER

A compreensão do comportamento da água no solo é fundamental para o exercício da engenharia geotécnica, sobretudo, quando as práticas construtivas projetadas interferem com as águas subterrâneas, ou aquíferos, que são, como no presente caso, identificadas pela profundidade do lençol freático deste aquífero livre.

O controle da água subterrânea permite a execução de obras com segurança por propiciar condições de escavação, evitar deslizamentos de taludes, além de impedir rupturas de fundo devido às pressões artesianas em estratos de subsuperfície.

Existem inúmeros métodos para controle do nível d'água, como poços profundos, ponteiros filtrantes, valas, congelamento do solo e eletrosmose (este último método, tanto quanto sabemos, ainda não teve aplicação direta em nossa região, estando seu uso presente apenas em referências bibliográficas), os quais são escolhidos em função das profundidades da escavação e da permeabilidade e transmissividade do pacote investigado.

Os sistemas apresentam versatilidade quanto a suas funções, como garantir: a operação de escavação em profundidades abaixo do nível d'água; a redução da infiltração de água em taludes escavados para assegurar a estabilidade destes; o controle de pressões artesianas; ou também a redução de tensões laterais em contenções aplicadas.

No **Empreendimento Central Tower**, localizado no terreno na Avenida Central, esquina com as ruas 500 e 600, bairro Centro, no município de Balneário Camboriú, SC, o Projeto de Rebaixamento do Nível Freático foi proposto pela empresa **BORNSALES Engenharia (2024)** e fundamentou-se numa série de análises técnicas, para propor o dimensionamento do rebaixamento temporário do lençol freático.

No relatório técnico que fundamenta o referido estudo é apresentado o memorial descritivo sobre o tipo de rebaixamento do lençol freático proposto para a obra, a profundidade necessária para execução do rebaixamento do lençol freático e a influência do projeto de contenção proposto, no controle do rebaixamento temporário do lençol freático.

O referido Projeto de rebaixamento temporário do NF local teve por fundamento os seguintes Projetos, ensaios e Levantamentos, conforme informado:

- **FG Empreendimentos (2024b) – Projeto arquitetônico** - Terraplenagem. Arquivo digital: CET-DF-ARQ- 001-SUB-R33.dwg.

- **LABORGEO Petrografia e Geologia (2024) – Ensaio de bombeamento**. Arquivo digital: relatório final.pdf.

- **LAPA (2024) – Levantamento topográfico planialtimétrico cadastral georreferenciado**. Arquivo digital: 212.08Leva10.R2.dwg.

- **SOLO Sondagem (2024a) – Relatório de sondagem MISTA**. Ref.: N° 542.

A análise comparativa entre os perfis descritivos de Sondagem, adotados na análise do projeto de rebaixamento e aqueles descritos na introdução construtiva dos Poços de Monitoramento e de Bombeamento, apresentam pequenas variações deposicionais no pacote superficial, até a profundidade de 6,0 (seis) metros.

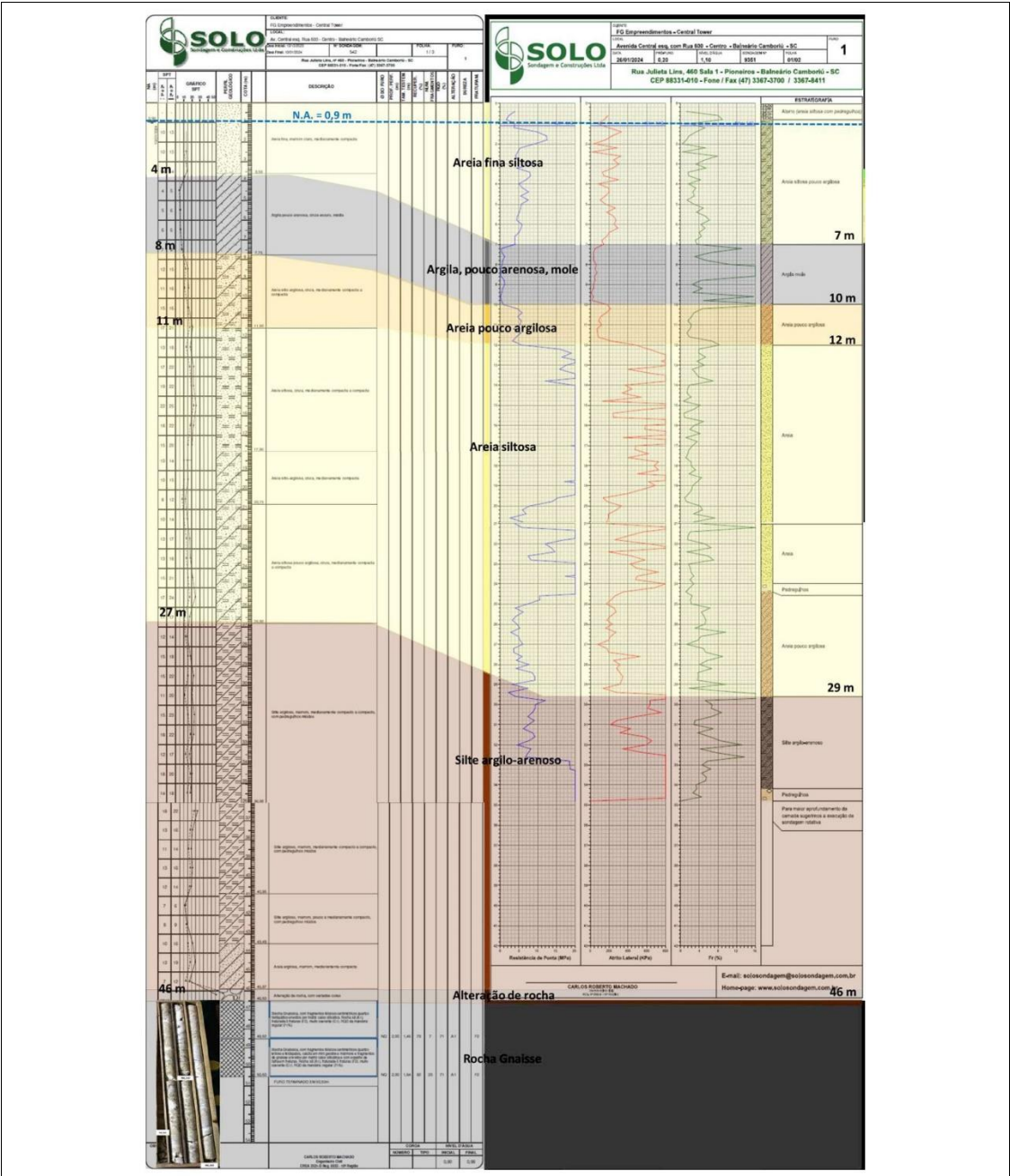


Figura 15 - Perfis descritivos de Sondagem, adotados na análise do projeto de rebaixamento a partir da sondagem mista (Solo, 2023), considerando, sobretudo o rebaixamento necessário para implantação construtiva do bloco central de fundação.

5.3 - DO SUBSOLO E BLOCO CENTRAL DE FUNDAÇÃO

A proposta de rebaixamento do nível freático no Empreendimento Central Tower, considerou, sobretudo, no projeto arquitetônico do empreendimento, a indicação construtiva de 01 (um) pavimento subsolo, além de 01 (um) bloco central de fundação, considerado no número de pavimentos propostos.

Neste sentido, além das escavações necessárias para implantação do subsolo, foram necessariamente consideradas, no sistema proposto de rebaixamento temporário do lençol freático, as escavações para a introdução construtiva do bloco central de fundação.

Numa análise prévia, considerado o projeto e a topografia do terreno, restou estimada na proposta de rebaixamento temporário do NF local proposta, que a escavação do subsolo será de **2,70 m de altura**.

Entretanto, para a execução construtiva do bloco central de fundação, incluindo o rebaixo dos poços dos elevadores, restou estimado um rebaixamento **numa altura de 7,30 m**.

Tais valores deverão ainda ser confirmados, conforme informado, na etapa de desenvolvimento dos projetos de engenharia geotécnica e estrutural de fundações.

Na figura abaixo é possível visualizar as linhas de escavação propostas no terreno (subsolo e bloco central) em relação às camadas de solo identificadas no perfil estratigráfico do terreno, indicando que a intervenção, na escavação, deverá ocorrer, nas camadas descritas no perfil de sondagem, compostas por areia siltosa e argila pouco arenosa.

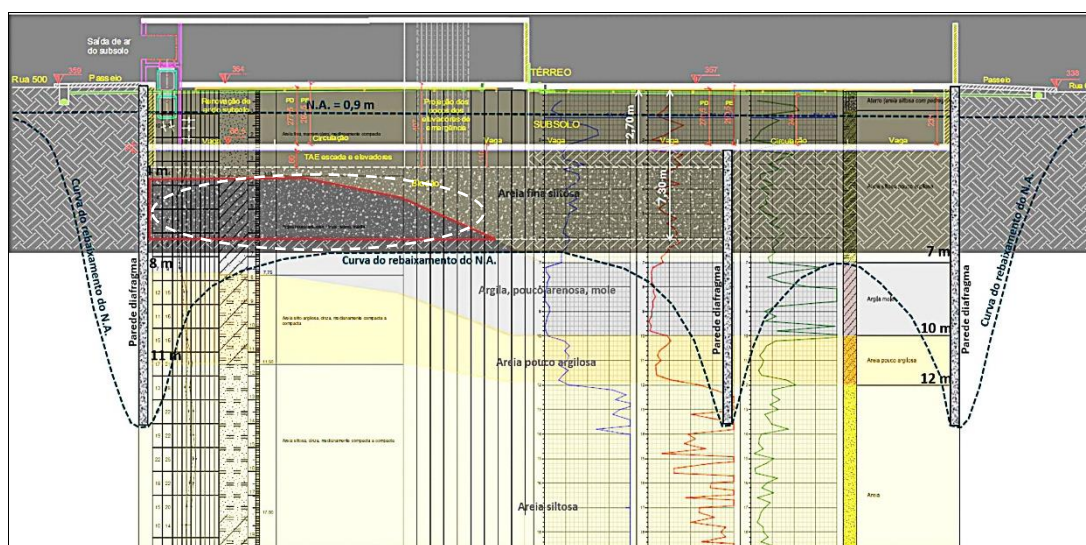


Figura 16 – Sobreposição, em corte, das profundidades de escavação do terreno com o perfil estratigráfico adotado na análise. (BornSales, 2024).

Destaca-se especial atenção, quando do rebaixamento, para a execução construtiva do **bloco central de fundação**, incluindo o rebaixo dos poços dos elevadores, onde restou estimado um rebaixamento **numa altura de 7,30 m**, para o atingimento da **camada de Argila pouco arenosa, consistência mole**; descrita na **Sondagem da Empresa Solo (2023)**, variando nos perfis avaliados entre 4 e 3 metros de espessura.

Encontra-se previsto, numa estimativa inicial, a implantação de um sistema de contenção, fazendo uso de **parede diafragma, com 14 metros de profundidade, em todo o perímetro do subsolo e do bloco central de fundação.**

Tal comprimento de lamelas será definida na etapa de desenvolvimento do projeto de contenção, após a sua compatibilização com o projeto geotécnico de fundações

A implantação da cortina, originalmente com 14 metros de profundidade, visa conter o solo, protegendo os terrenos, edificações e vias no entorno, bem como assegurando o desenvolvimento do trabalho dos colaboradores, além de buscar controlar o fluxo de água sob o pé da cortina, **minimizando o raio de influência do sistema temporário do rebaixamento do lençol freático, visualizada na figura a seguir.**

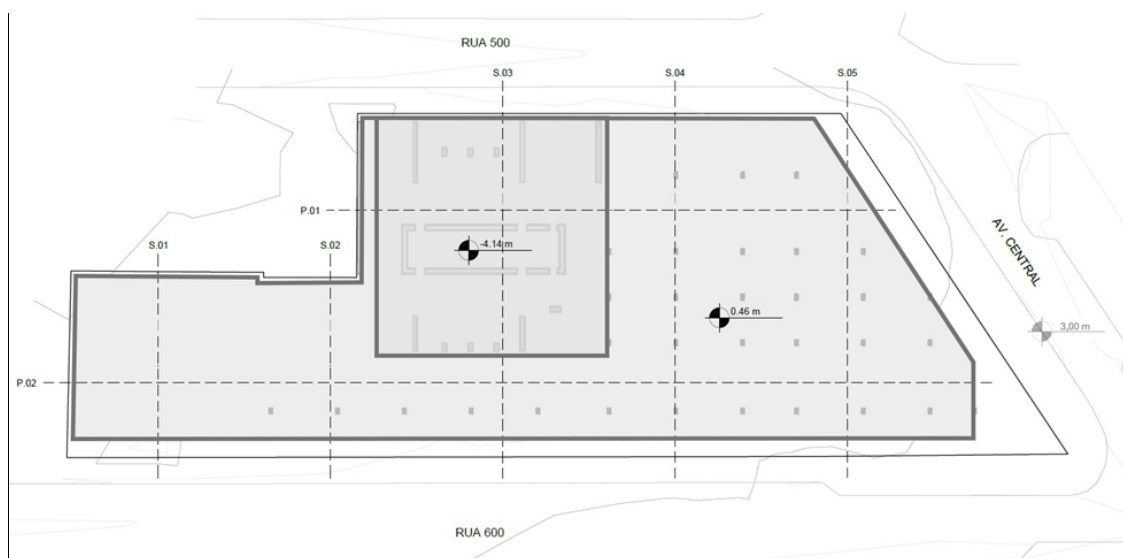


Figura 17 – Desenho em planta com estimativa das implantações do subsolo e bloco central de fundação, envolvidos pela cortina, originalmente com 14 metros de profundidade. Segundo BornSales, 2024.

5.4 - DO SISTEMA DE REBAIXAMENTO PROPOSTO

O sistema de rebaixamento do lençol freático é do **tipo TEMPORÁRIO** e **composto de sistema de PONTEIRAS FILTRANTES, com uso de MOTO-BOMBA-VÁCUO.**

O rebaixamento do lençol freático deverá permanecer operando até que a estrutura tenha peso suficiente para evitar a flutuação e esforço de tração nas fundações, após o seu desligamento.

Caberá ao Projetista Estrutural autorizar o desligamento do sistema temporário de rebaixamento do lençol freático.

O dimensionamento do sistema de rebaixamento do lençol freático proposto, envolve a definição dos dados de entrada, com a especificação do coeficiente de permeabilidade médio do solo, níveis envolvidos no rebaixamento e diâmetros das tubulações (tubo coletor e ponteiros filtrantes).

Após os cálculos do raio de influência do rebaixamento (R) e da vazão de projeto (Qproj), se faz a determinação da quantidade e afastamento das ponteiros filtrantes. Por fim, define-se a potência necessária para operar o sistema motor-bomba.

A vazão estimada para o rebaixamento completo do lençol freático é de 13 m³/h para a área do Bloco Central e de 91 m³/h para a área do Subsolo. A empresa executora do sistema de rebaixamento deverá avaliar o sistema moto-bomba-vácuo para atender esta vazão.

O raio de influência do rebaixamento proposto em projeto, sem considerar a possibilidade de reinjeção é de 55 m para o Bloco Central e 58 m para o Subsolo, considerando que a curva do raio de influência é uma parábola.

Na figura abaixo é apresentado o desenho em planta da locação dos segmentos de ponteiros filtrantes, tubos coletores e motor-bombas. Para a escavação dos blocos de fundação, pode-se reposicionar as ponteiros filtrantes, de forma a facilitar o rebaixamento temporário do lençol freático até a cota de arrasamento das estacas.

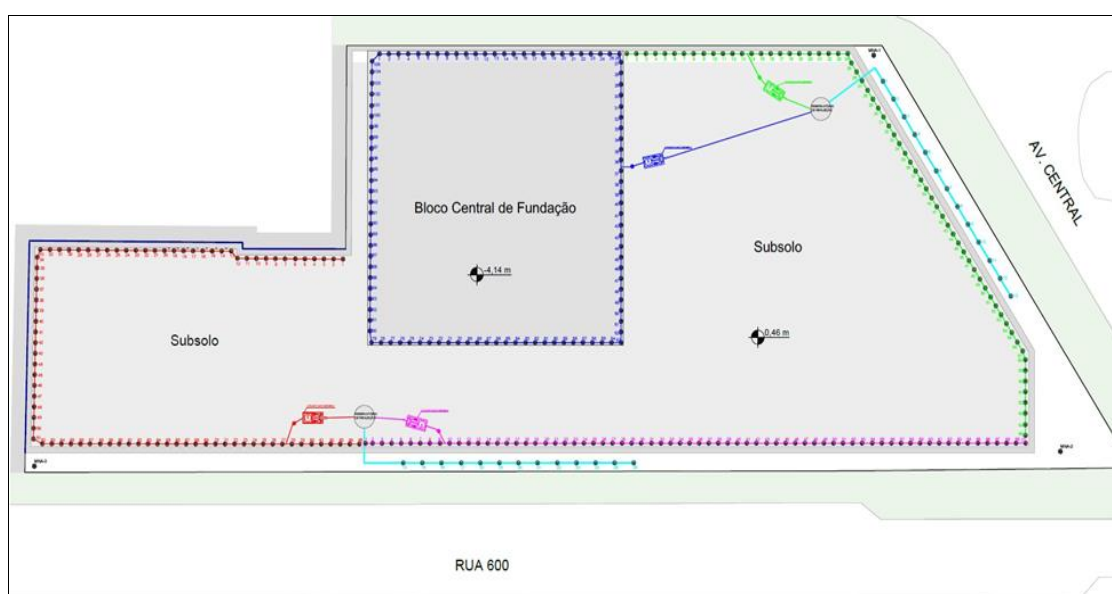


Figura 18 – Localização dos segmentos de ponteiros filtrantes do rebaixamento temporário do lençol freático Segundo BornSales, 2024.

Há indicação de pontos para a instalação dos medidores do nível de água (MNA) e do sistema de reinjeção por gravidade.

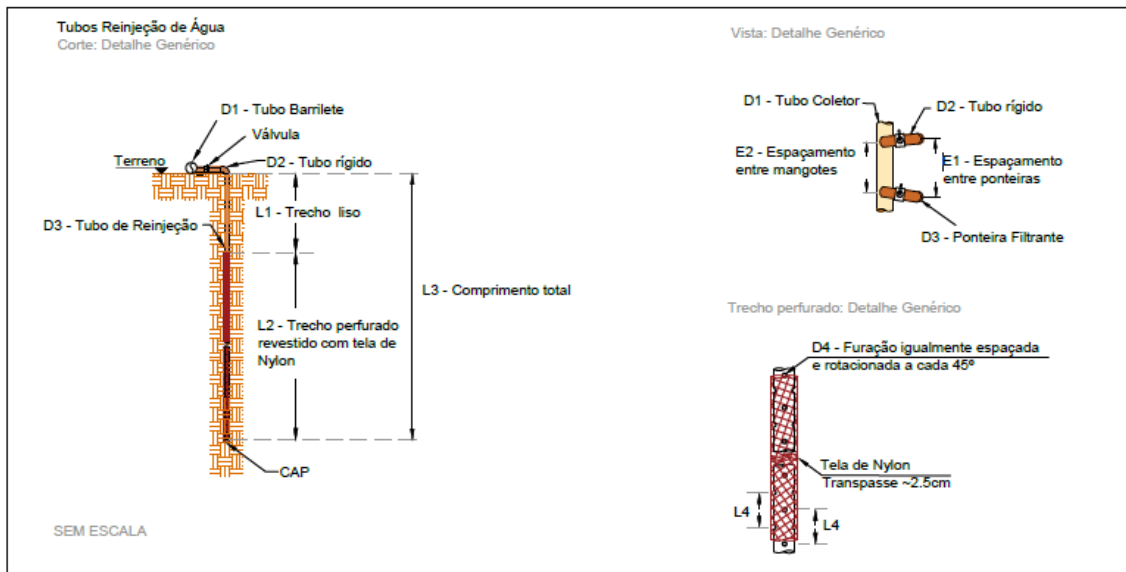


Figura 19 – Detalhe aleatório de modelo dos Tubos de Reinjeção do rebaixamento temporário do lençol freático, segundo BornSales, 2024.

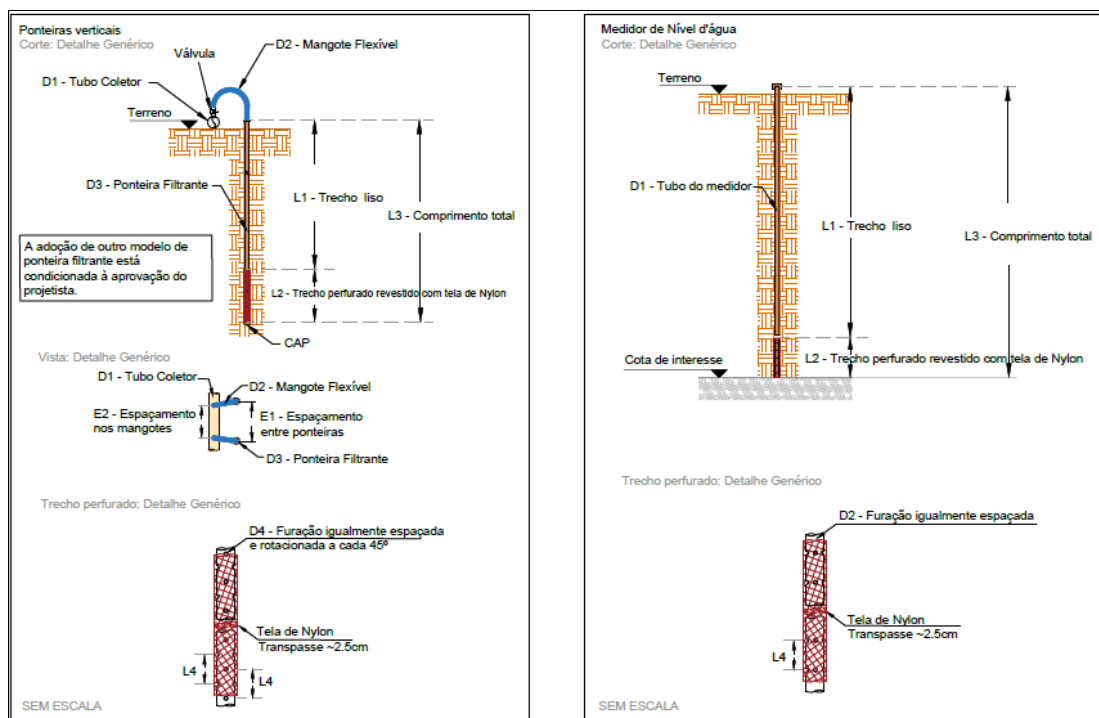


Figura 20 – Detalhe aleatório de modelo dos Ponteira Filtrante do rebaixamento temporário do lençol freático, segundo BornSales, 2024.

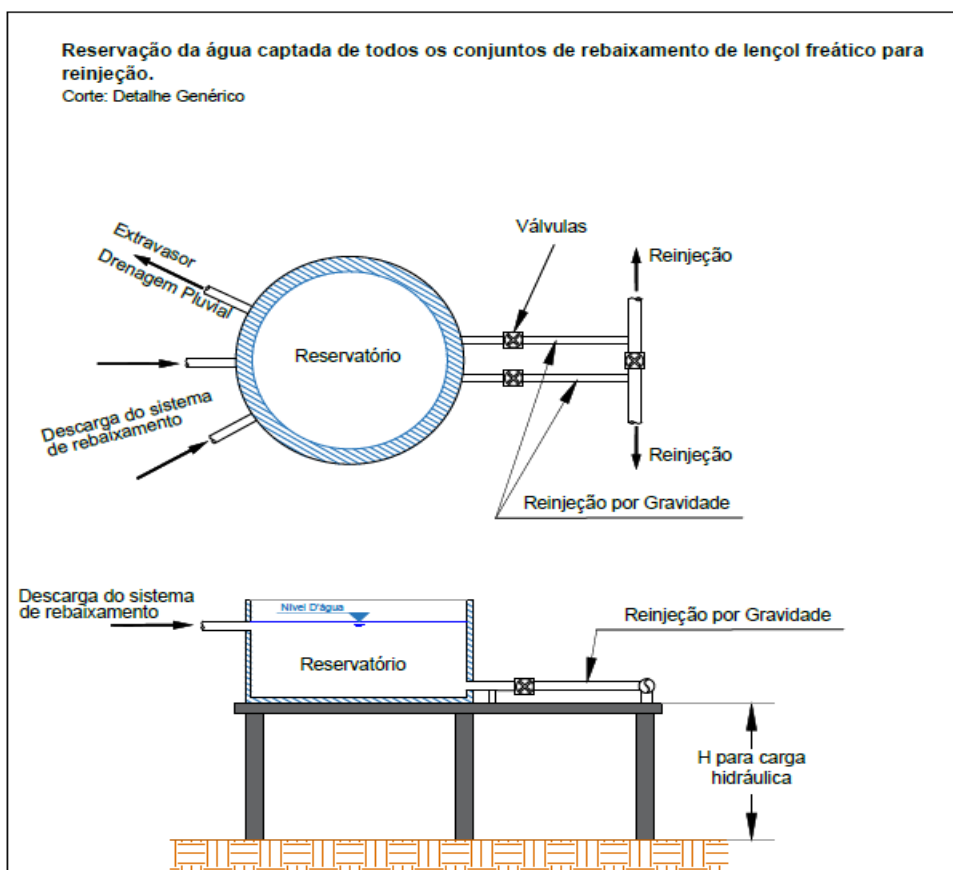


Figura 21 – Detalhe aleatório de Reservação de água captada no rebaixamento temporário do lençol freático, segundo BornSales, 2024.

5.5 - CONSIDERAÇÕES CONTIDAS NO PROJETO

Frente às análises do sistema de rebaixamento temporário do lençol freático, têm-se:

- Os sistemas de rebaixamento do lençol freático **foram dimensionados para as alturas de escavação do Bloco Central (7,30 m) e Subsolo (2,70 m)**. Tais valores deverão ser confirmados na etapa de desenvolvimento dos projetos de engenharia geotécnica e estrutural de fundações.
- Na implantação da cortina o comprimento de lamelas será definida na etapa de desenvolvimento do projeto de contenção, após a sua compatibilização com o projeto geotécnico de fundações.
- O raio de influência preliminar do rebaixamento do lençol freático, sem considerar a reinjeção, é de 55 metros para o rebaixamento do Bloco Central e de 58 metros para o rebaixamento do Subsolo. Como a curva do raio de influência é uma parábola, **considera-se como efetivo 50% do valor calculado**.
- A vazão de projeto para o rebaixamento do lençol freático é da ordem de 13 m³/h para o Bloco Central e de 91 m³/h para o Subsolo. **Para as escavações do Subsolo estima-se que a influência da camada de argila arenosa possa exigir a instalação de POÇOS com BOMBAS SUBMERSAS**.
- A descarga do bombeamento **poderá ser lançada na drenagem urbana**, visto os valores estimados de vazão dos sistemas de rebaixamento.

f) Como medida mitigatória, foram projetados **sistemas de reinjeção da água no solo, por gravidade.**

5.6 – DO TEMPO DE INTERVENÇÃO

As etapas que necessitam do rebaixamento de nível freático estão programadas para dezoito meses de obra (Figura).



Figura 22 - Cronograma do rebaixamento do lençol freático para execução da obra, num período de 18 meses.

O rebaixamento do lençol freático será temporário e realizado no período de 18 meses, entre o início da escavação e o fim da concretagem do Bloco Central (7,30 m) e Subsolo (2,70 m).

Neste período que contempla a necessidade de rebaixamento do lençol freático para a execução da obra, será realizada inicialmente a escavação no terreno até a concretagem final da laje de subpressão.

6 – DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DO NÍVEL FREÁTICO:

Os poços foram executados pelo método de cravação e revestidos com tubo de PVC, ranhurados em determinadas profundidades, e envoltos nestes pontos, por manta geotêxtil e com tampa no fundo. Na Figura 23 está indicada a localização dos poços: poço de bombeamento (Pb) com 9 metros de profundidade e **poços de observação (Pz) com 8 metros de profundidade no PZ1, Pz2 e Pz3 e Pz4.**

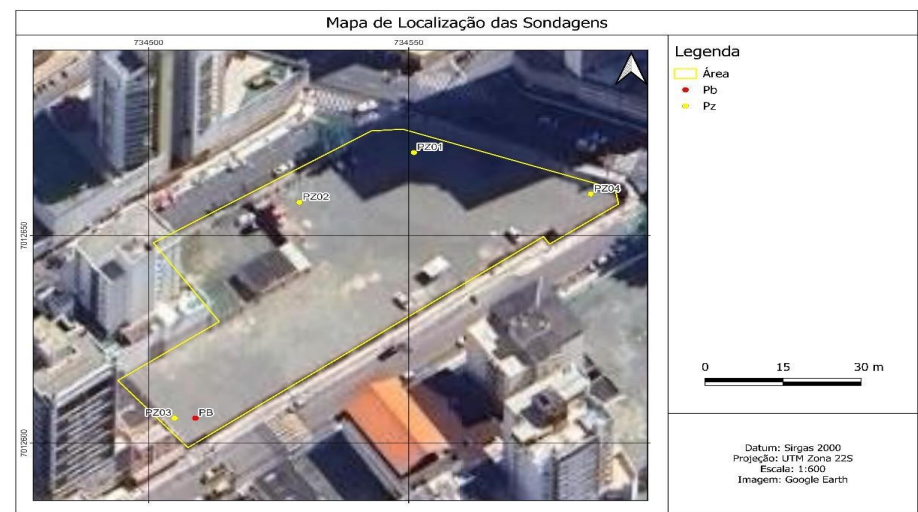


Figura 23 – Localização dos Poços de Monitoramento, instalados nos limites da propriedade.

O monitoramento da qualidade e quantidade da água é a base para o gerenciamento deste recurso, subsidiando a tomada de decisões e avaliando a eficácia dessas decisões na proteção, manutenção, melhoria e remediação dos recursos hídricos.

As alterações na quantidade e qualidade das águas subterrâneas ocorrem lentamente, sendo identificadas apenas por meio de um monitoramento bem elaborado e de longo termo. O monitoramento fornece informações para o controle de impactos causados pela extração de água e pela carga de poluentes eventualmente presentes num determinado aquífero.

Na busca por definir corretamente a melhor estratégia de rebaixamento do nível freático local, além evitar os impactos inerentes, restou implantada, previamente 04 (quatro) poços de Observação que permitirão monitorar o antes e o depois do procedimento temporário proposto.

A construção dos poços foi realizada de acordo com as normas NBR 15495-1 e NBR 15495-2, respectivamente para Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1: Projeto e Parte 2: Desenvolvimento.

Os poços foram confeccionados com o mesmo material, sendo tubos de PVC, de 2", com exceção do PB (poço de bombeamento), confeccionado com tubo de 4", localizado a 5,35 m do Pz3 que é poço de observação no qual será monitorado o rebaixamento de nível.

O poço PB serviu para receber a bomba utilizada durante o teste de bombeamento. Os metros superiores dos tubos são lisos enquanto suas partes inferiores são ranhurados

Foi interceptado nível freático nos 4 (quatro) pontos de sondagem realizados, com profundidade média de 1,00 metros.

Cumprir relatar que as análises para Cloretos/Salinidade, realizadas em laboratório (anexas), nos poços instalados no terreno não acusaram, conforme previsto nos resultados de Eletroresistividade obtidos, a presença de salinidade nas amostragens realizadas, mantendo-as no enquadramento das águas doces (Conforme Resolução Conama).

7.0- CONCLUSÕES:

A evidente consolidação da urbanização de Balneário Camboriú/SC, cidade costeira do Litoral Centro- Norte de Santa Catarina, e sua consequente verticalização, atribui-se a necessidade de procedimentos diversos de rebaixamento do lençol freático para a realização de escavações, para implantação construtiva de pavimentos subsolo e fundações previstas na construção destes Empreendimentos.

A partir da revisão bibliográfica da literatura técnica e do diálogo com profissionais da área, foi possível estabelecer uma aproximação do atual estado da arte do tema, consolidando informações do tipo de aquífero, matematização básica do movimento da água no subsolo, formulações para cálculo de vazões, recomendações contidas em projeto, compreensão das variáveis hidrogeológicas que influenciam o rebaixamento (T, k e S) e os testes para obtenção destes parâmetros

Conforme demonstrado o presente Laudo Hidrogeológico buscou fundamentar a possibilidade construtiva de Bloco Central e pavimento subsolo no Empreendimento Central Tower, tendo por base Projeto Arquitetônico apresentado, Teste de Bombeamento, Levantamento Geofísico

realizado pelo método de Resistividade Elétrica, análise de NF em 04 (quatro) Poços de Monitoramento já instalados, coleta e análise físico-química de amostras d'água nos poços de monitoramento, análise dos Perfis de 09 (nove) furos de Sondagem (SPT), e Projeto de Rebaixamento Temporário do Lençol Freático, realizados, em terreno situado à Avenida Central entre a rua 500 e 600 no centro da cidade de Balneário Camboriú, estado de Santa Catarina de Titularidade da Empresa Central Tower Empreendimentos SPE, onde busca a implantação futura do **Empreendimento Central Tower**.

Tais análises e estudos buscaram descrever os aspectos que envolvem a caracterização do nível freático local, com a utilização de métodos diretos (sondagem/instalação de poços/análises físico-químicas) e indiretos (geofísica), assim como se buscou caracterizar e descrever o necessário procedimento de rebaixamento temporário do nível freático local, para a execução do Bloco Central, mais profundo e Pavimento Subsolo, assim como poços de elevadores, nos moldes definidos em projeto, encaminhado aos órgãos municipais competentes.

Conforme demonstrado à implantação do Empreendimento ocorrerá respeitando de forma preventiva o planejamento e gestão dos recursos hídricos locais, fundamentalmente de subsuperfície, buscando mitigar a degradação da qualidade da água do aquífero livre costeiro.

Pôde-se perceber, após a análise dos referidos estudos, que inexistirão alterações significativas e não passíveis de monitoramento e mitigação, fato que corrobora os cuidados prévios adotados pelo empreendedor, de forma antecipada às regulares intervenções, temporárias, propostas nos limites do aquífero costeiro livre local.

Os estudos realizados serviram para atestar as condições atuais do aquífero costeiro livre, nos limites da Área Diretamente Afetada (ADA) e seu entorno imediato e servirão também para monitorar o aquífero local, durante o processo de Instalação construtiva do Empreendimento.

A área objeto deste estudo, por suas características geológicas e deposicionais, bem evidenciadas, na interpretação de dados por sondagem (direta) com atingimento do embasamento cristalino, e indireta (geofísica) nos permitiram caracterizar o aquífero local como um aquífero costeiro livre, onde o pacote de sedimentos que o comporta encontra-se diretamente assentado sobre rochas do embasamento regional.

Conforme informado, considerada a intervenção construtiva proposta, assim como o modelo de rebaixamento temporário sugerido, com uso de ponteiros filtrantes/bombas submersas, entendemos não haver riscos de “contaminação” do aquífero livre por atingimento da “cunha salina”, **cujas “assinaturas” da presença de água salgada não foi identificadas no Levantamento Geofísico realizado, conforme demonstram as Sondagens Elétricas (SEV 04 e 05) abaixo, até uma profundidade de 35,00 metros.**

É possível compreender na correlação dos resultados apresentados neste estudo, associados à metodologia de rebaixamento temporário do nível freático local proposta, que inexistirá, pelos cones resultantes do modelo de rebaixamento indicados, a elevação da interface água doce e água salgada de maneira a produzir um ponto de gradiente horizontal nulo, ou ponto de estancamento, promovendo a migração da cunha salina (inexistente nos limites a serem temporariamente rebaixados), por um período total de 18 (dezoito) meses.

Enquanto alternativas, visando o reuso/destinação da água explotada vê-se proposto nos projetos apresentados, originalmente, o Lançamento na rede pluvial existente, além da reinjeção de parte do volume extraído para recarga do aquífero local.

Neste sentido, e tendo por base os estudos que descreveram os aspectos que envolvem a caracterização do nível freático local e a estratigrafia ali existente, com a utilização de métodos diretos (sondagem) e indiretos (geofísicos), e parâmetros físico-químicos obtidos previamente, assim como a caracterização e descrição do necessário procedimento de rebaixamento temporário do nível freático local, e compreendido o modelo de aquífero livre instalado em subsuperfície, conclui-se pela impossibilidade de ocorrência de intrusão da cunha salina, local promovida por estas intervenções construtivas propostas, fato que deverá ser monitorado, durante e após o rebaixamento temporário sugerido, através de um programa de coleta e análises de amostras nos 04 (quatro) Poços ali instalados a ser executado por Laboratório credenciado junto ao Órgão licenciador.

É o Parecer.

Balneário Camboriú, novembro de 2024.

João Guilherme Cunha
JOÃO GUILHERME WEGNER DA CUNHA.
GEÓLOGO – CREA-SC 35.089-9

Referências Bibliográficas:

ALONSO, U. R. Perda de eficiência de rebaixamento profundo de nível freático devido à contaminação dos filtros e das bombas submersas por ferro-bactérias. SEFE VII, p. 62. São Paulo, 2012.

ALONSO, U. R. Rebaixamento temporário de aquíferos. Oficina de Textos. São Paulo, 2007.

ALONSO, U. R. Rebaixamento temporário de aquíferos. 2ª edição. Oficina de Textos, 2018.

Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários / Norberto Olmiro Horn Filho, et al. Florianópolis: UFSC, 2020. 331p. E-ISBN 978-65-991949-5-5.

BORNSALES Engenharia (2024) – Projeto de rebaixamento do lençol freático. Arquivo digital: FG.pdf..

FG Empreendimentos (2024b) – Projeto arquitetônico - Terraplenagem. Arquivo digital: CET-DF-ARQ-001-SUB-R33.dwg.

Gallas, J.D.F. 2000. Principais Métodos Geofísicos e suas Aplicações em Prospeção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental. Tese de doutorado, Rio Claro, Unesp – SP.

GUAPIGEO Geofísica, Relatório Geofísico de Resistividade Elétrica Projeto: CENTRAL TOWER, Outubro, 2024.

HORN FILHO, N. O. 2003. Setorização da província costeira de Santa Catarina, em c 8base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. Geosul, Florianópolis, v.18, n.35, p. 71-98.

LABORGEO Petrografia e Geologia (2024) – Ensaio de bombeamento. Arquivo digital: relatório final.pdf.

Lozano, M. H. Recalques por rebaixamento do lençol freático. Disponível em: <> <http://www.forumdaconstrucao.com.br> <>. Acessado em: 8 de novembro de 2024.

Medeiros, A. L. C. Universidade Nova de Lisboa. Rebaixamentos do Nível Aquífero em Obras de Engenharia.

Nobre, R. C. M. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Avaliação de risco para o uso e proteção de aquíferos. Estudo de caso: região metropolitana de Maceió. Pg 129.

JACOB, C. E. Radial flow in a leaky artesian aquifer. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 27, n. 2, p. 198-208, 1946.

SOLO Sondagem (2024a) – Relatório de sondagem MISTA. Ref.: N° 542.

SOLO Sondagem (2024b) – Relatório de sondagem CPT. Ref.: N° 9351

ANEXOS