Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas do Local

4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS, GEOTÉCNICAS E HIDROGEOLÓGICAS DO LOCAL

4.1. Caracterização Geológica e Geotécnica

4.1.1. Enquadramento Regional

A zona intervencionada insere-se na grande unidade geotectónica correspondente à Bacia Sedimentar do Tejo e Sado. Esta unidade é constituída por um conjunto de terrenos modernos (ceno-antropozoicos), de depósitos de terraços fluviais, dunas e depósitos detríticos de cobertura. As formações terciárias desta unidade são limitadas, a Norte e a Oeste, por terrenos jurássicos, e a Este e a Sul, por formações do Maciço Hespérico.

Em termos geomorfológicos, a esta unidade corresponde uma vasta superfície de baixa altitude, no geral com cotas inferiores a 50 m, sulcada por linhas de água pouco encaixadas e com importantes fundos aluviais. O relevo é suave, com declives dominantes da ordem dos 3% a 15% e, nos fundos aluviais, planos, declives entre 0% e 3%.

Esta unidade é enquadrada por terrenos mais antigos, onde se registam as altitudes mais elevadas e os relevos mais vigorosos, destacando-se a Este e a Sul as formações do Maciço Antigo, e a Oeste, a Orla Sedimentar Secundária, correspondente à Serra da Arrábida.

4.1.2. Zona de Intervenção

Trata-se de uma área que apresenta grande regularidade em consonância com a constituição litológica, com relevo pouco acentuado, linhas de água pouco entalhadas e de vales abertos com vertentes simétricas. As cotas do terreno natural variam entre 2 e 21 m.

A orientação geral das pequenas linhas de água, de carácter sazonal e abrangidas pelo aterro é de S-N e E-W, com encostas suaves e apresentando inclinações em regra inferiores a 15°.

Do ponto de vista estrutural, observa-se uma grande regularidade e horizontalidade das camadas, com contactos bem definidos, onde as variações laterais de fácies serão de atribuir a alterações de natureza sedimentológica.

As formações geológicas principais fazem parte, como já referido anteriormente, da mancha pertencente à Bacia Terciária do Sado, sendo constituídas, na zona mais superficial, por

Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas do Local

solos modernos de natureza arenosa, medianamente compactos, encontrando-se subjacentemente terrenos pliocénicos de composição siltosa ou argilo-siltosa, de geometria lenticular, compactos a muito compactos.

De acordo com sondagens efetuadas no local, está-se em presença das seguintes unidades lito estratigráficas:

- Moderno** – Trata-se de depósitos aluvionares associados ao vale da linha de água mais importante e cuja espessura não deverá ultrapassar 1 metro, sendo de composição predominantemente arenosa e de cor amarelo-acinzentada. São as Areias de Duna (Ad), que terão ficado preservadas na paisagem pelo preenchimento dos trechos mais entalhados da antiga topografia.
- Plistocénico** – Corresponde a antigos terraços compostos por arenitos intercalados com nível de seixos mal rolados, ocupando os pontos de cota mais elevados e cuja espessura varia entre 0.5 e 1.0 metros, apresentando pouca extensão.
- Pliocénico (P)** – Constitui a formação mais visível ao longo de toda a área proposta para intervenção, cobrindo maioritariamente a superfície topográfica, cuja espessura atinge 100 a 120 metros.
Esta unidade é constituída por um complexo de materiais heterogéneos, representado por areias médias a finas, amarelo-avermelhadas, por vezes compactas, com intercalações de lenticulas argilosas e passagem a argilo-siltosas, ocorrendo ainda alguns pequenos leitos de seixo e calhau rolado.
- Miocénico** – Encontra-se subjacente à unidade anterior sendo constituído por um complexo de grés muito argiloso a margoso nos níveis superiores, com cerca de 30 metros de espessura, seguindo-se um complexo greso-calcário em profundidade.
Abaixo dos 300 metros, apresenta uma fácies essencialmente margosa.

4.1.3. Reconhecimento Geológico e Geotécnico

No local, foi realizado, no âmbito do projeto de construção da célula C, um programa de prospeção mecânica envolvendo a realização de ensaios com penetrómetro dinâmico superpesado e poços de reconhecimento com colheita de amostras remexidas. A amostragem foi posteriormente submetida a processamento laboratorial.

Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas do Local

A caracterização mecânica efetuada em níveis de aterros facultou valores de resistência dinâmica de ponta (qd) algo dispersos, situados entre 1,3 MPa e 27 MPa, associando-se aos valores mais elevados, situados entre 10 MPa e 27 MPa, aos calhaus grosseiros e os resultados mais baixos, estabelecidos entre 1,3 e 7 MPa, com a matriz arenosa destes depósitos, associando-lhe comportamento geotécnico, no geral, bastante limitado.

A amostragem processada laboratorialmente referenciou solos granulares não plásticos, enquadrados nos grupos SP-SM da classificação Unificada e A-1-b(0) do sistema AASTHO.

Nos trechos de cotas mais baixas, essencialmente associadas aos vales, ocorrem acumulações de areias dunares (Ad), constituídas por areias médias a finas, sem finos e com 1-3 m de desenvolvimento vertical. Os ensaios com DPSH realizados nesta unidade propiciaram valores de qd maioritariamente compreendidos entre 3 MPa e 15 MPa. A amostragem processada laboratorialmente, e que reflete a constituição das areias de duna mais superficiais, referenciou sobretudo os níveis enquadrados no grupo SP-SM da classificação Unificada e no grupo A-1-b(0) do sistema AASTHO.

Lateralmente estão representadas séries espessas de areias pertencentes à formação litoestratigráfica designada por «Complexo Greso-Argiloso de Algeruz e de Monte do Pinheiro (P)».

A realização da prospeção mecânica, incluindo as sondagens geotécnicas realizadas em 2000, para efeito da construção das células A e B, permitiu observar e classificar macroscopicamente o cortejo litológico ocorrente, essencialmente constituído por sedimentos de coloração clara, com tons amarelados, esbranquiçados e alaranjados. São areias de granulometria média a fina, com componente matricial argilo-siltosa mais ou menos expressiva, englobando seixo e calhau rolado.

A amostragem processada laboratorialmente, referenciou exclusivamente solos granulares, enquadrados nos grupos SC da classificação Unificada e A-2-6(0) do sistema AASTHO. Em termos de caracterização geotécnica, verifica-se que os ensaios DPSH realizados nesta unidade propiciaram valores de qd maioritariamente compreendidos entre 14 MPa e 60 MPa e resultados de ensaios SPT situados entre $27 \leq NSPT \leq 60$, definindo tendência de incremento de resistência com a profundidade e caracterizando comportamentos geomecânicos no domínio de solos granulares muito compactos.

Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas do Local

4.2. Caracterização Hidrogeológica

4.2.1. Enquadramento Regional

A área em análise inclui-se na Bacia Sedimentar do Tejo e Sado. Esta unidade foi afetada por importantes movimentos orogénicos, que provocaram o seu afundamento ao longo das linhas de debilidade estrutural do soco. Esta zona, na qual já se tinham depositado os sedimentos do mesozóico, foi coberta por materiais continentais oligocénicos, aos quais se sobrepueram os produzidos durante a transgressão aquitano-burdigaliana. Posteriormente, no Helveciano, começou uma regressão, que se prolongou até ao Miocénico superior. Simultaneamente, com as formações marinhas depositadas na zona submersa, formaram-se, na parte continental da bacia, sedimentos fluvio-continentais e lacustres. Este facto explica que, nesta bacia, sedimentos com a mesma idade tenham fácies distintas e, conseqüentemente, com características hidrogeológicas diferentes.

Na bacia do Baixo Tejo e Sado identificam-se dois sistemas aquíferos com ligações hidráulicas, limitados inferiormente pelas formações margosas do Aquitano-Burdigaliano e pelos terrenos do Oligocénico-Cretácico.

Os aquíferos instalados nas formações calcário-detríticas do Burdigaliano e Helvaciano inferior e no complexo argilo-detrítico do Miocénico médio e superior são do tipo cativo. Os aquíferos correspondentes às formações do Pliocénico e do Quaternário (aluviões e terraços fluviais) são do tipo livre.

O aquífero superior, que limita o aquífero do Miocénico médio e superior e estabelece a relação hidráulica entre este aquífero e o livre sobrejacente, pertence já ao Pliocénico, embora localmente possa corresponder ao troço terminal das formações do Miocénico superior. Embora com carácter lenticular, esta formação atua hidraulicamente como aquífero, observando-se diferenças piezométricas entre os dois aquíferos da ordem das dezenas de metros.

Os valores dos parâmetros hidráulicos dos aquíferos cativos são elevados, registando-se rendimentos específicos da ordem dos 3 a 8 l/s.m, existindo captações com caudais variando entre 40 a 100 l/s. Os valores da transmissividade são da ordem de 10^{-2} m/s² e os coeficientes de armazenamento variam entre 3×10^{-4} e 7×10^{-4} .

Os aquíferos livres cobrem praticamente toda a bacia e correspondem às formações aluvionares quaternárias dos rios Tejo e Sado e seus afluentes, aos terraços fluviais do Tejo

Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas do Local

e às formações pliocénicas. A sua base é constituída pelo aquitardo referido acima e os aquíferos são drenados através das aluviões e terraços para a rede hidrográfica.

A espessura deste aquífero é variável e por vezes difícil de definir, não ultrapassando normalmente os 120 m, nas zonas de maior profundidade.

Os valores dos parâmetros hidráulicos são muito variáveis. As aluviões do baixo Tejo apresentam valores de $1,5 \times 10^{-2}$ a 3×10^{-2} m/s² para a transmissividade e de 10^{-2} a 10^{-3} para o coeficiente de armazenamento.

O funcionamento hidráulico do sistema aquífero do Tejo e Sado é análogo aos de outras bacias do mesmo tipo. A área de recarga situa-se nas partes mais elevadas, onde os aquíferos profundos são alimentados a partir das camadas sobrejacentes. A parte mais baixa da bacia constitui a zona de descarga do sistema, sendo os aquíferos mais profundos drenados através do aquífero livre para a rede hidrográfica.

4.2.2. Zona de Intervenção

A caracterização local fundamentou-se em elementos de captações de água existentes na área envolvente, em sondagens geológicas efetuadas na zona e no estudo geológico-geotécnico efetuado pela Geocontrol no âmbito do projeto de construção.

- **Pliocénico**

A produtividade média destas formações é pouco elevada, da ordem de uma a duas dezenas de litros por segundo, com rebaixamentos de cerca de 20 m, devido às variações laterais de fácies que provocam descontinuidades lenticulares e, portanto, perdas de carga acentuadas na percolação aquífera.

A permeabilidade, com valores compreendidos entre $k=10^{-3}$ cm/s a 10^{-4} cm/s, foi calculada a partir dos caudais específicos e ensaios de bombagem das captações que drenam estas formações, verificando-se que não apresentam um potencial de exploração adequado a grandes consumos, podendo-se considerar como um aquífero pobre.

A porosidade eficaz, atendendo à variabilidade granulométrica e descontinuidade dos sedimentos, poderá variar entre 0,10 e 0,25, a qual coincide sensivelmente com o

Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas do Local

coeficiente de armazenamento neste tipo de aquífero de comportamento livre, como referido acima.

Quanto à velocidade do fluxo, foi calculada com base na relação de Darcy, tendo-se chegado a valores compreendidos entre 1 m/dia e 0,4 m/dia, com gradiente hidráulico da ordem de 0,1, função da litologia considerada, com direção de percolação aproximadamente de ENE para WSW. Poderá ainda existir uma componente SSW da mesma ordem de grandeza.

O nível freático apresenta cotas da ordem de +3,0 a +5,0; no entanto, a ocorrência de lenticulas argilosas compactas no interior de camadas de areias grosseiras e seixo, permite a obtenção de valores diferenciados ao longo de perfis relativamente curtos e com a mesma altura topográfica.

- **Miocénico**

Neste aquífero cativo encontram-se as captações que fornecem os elevados caudais de exploração utilizados na indústria local, como seja na PORTUCEL e na SAPEC, entre outros. Trabalhos de pesquisa e captação levados a efeito em terrenos situados nas imediações do local do aterro, evidenciaram que a exploração das camadas aquíferas desta unidade apenas se efetua em média entre os -150,0 m e os -250,0 m. Com efeito, é fraco o rendimento da série nos níveis superiores (120 a 150), em virtude do predomínio da composição argilosa, os quais constituem o aquitardo que separa os dois subsistemas mencionados.

Às formações encontradas na periferia e no núcleo da célula C, poder-se-ão associar as seguintes gamas de valores médios de condutividade hidráulica (K):

- Areias Pliocénicas (P):..... $2.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \leq k \leq 1.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$;
- Areias de Duna (Ad):..... $1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \leq k \leq 1.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$;
- Aterros (At):..... $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm/s} \leq k \leq 5.5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$.

Os caudais específicos são da ordem dos 4 a 6 l/s.m, o que configura um bom a excelente aquífero.

Quanto ao coeficiente de armazenamento, o seu valor é superior a 10^{-3} e com porosidade eficaz média da ordem de 5%, calculando-se velocidades de percolação

Características Geológicas, Geotécnicas e Hidrogeológicas do Local

compreendidas entre 7 a 10 m/dia. O sentido geral do escoamento subterrâneo processa-se para Noroeste e com direções complementares WSW e WNW.

4.3. Síntese da Caracterização Geológica, Geotécnica e Hidrogeológica do Local

O local de implantação da célula C enquadra-se, num âmbito regional, na Bacia Terciária do Tejo e Sado, que inclui terrenos desde o Miocénico até o Cenozóico.

No local são aflorantes depósitos aluvionares, correspondentes ao vale da linha de água, antigos terraços plistocénicos, nos pontos de cota mais elevada e, por último, com maior representatividade no local, as areias compactas com intercalações argilosas, do Pliocénico.

Do ponto de vista hidrogeológico, a área situa-se na Bacia Sedimentar do Tejo e Sado, para a qual está estimada uma produtividade média de 500 m³/km².dia.

Localmente está-se em presença de dois sistemas aquíferos, um superior, pliocénico, com características freáticas, direção de fluxo aproximadamente de ENE para WSW e velocidade de 1 m/dia e 0,4 m/dia, e outro confinado, miocénico, onde estão instaladas as principais captações de água para utilização industrial e doméstica.

O aquífero superior apresenta produtividades variáveis, podendo-se atribuir-lhe um valor reduzido como recurso. Na área de implantação do aterro, os níveis deste aquífero posicionam-se a cerca de 4 m de profundidade, podendo atingir os 2 m na zona mais a jusante da linha de água principal.

O sistema aquífero miocénico situa-se a cerca de 200 m de profundidade, é do tipo confinado, com trocas no sentido do aquífero pliocénico e direção de fluxo para Noroeste.