

FIDUCIARY AGENCY FOR PROJECT
ADMINISTRATION (AFAP)



NATIONAL INSTITUTE FOR ROADS (INAE)



DEMOCRATIC REPUBLIC OF
SÃO TOMÉ AND PRÍNCIPE
UNITY - DISCIPLINE - WORK



Final Version

PREPARATION OF PRELIMINARY DESIGN, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT
ASSESSMENT AND BIDDING DOCUMENTS FOR DESIGN-AND-BUILD CONTRACT FOR
CONSTRUCTION OF BRIDGE OVER THE RIVER LEMBÁ AND A BRIDGE BRIGOMA



FINAL REPORT GEOTECHNICAL REPORT



ACI 2000
BP 5014
Bamako - Mali
Tel.: +223 20 24 32 34/44 90 00 64
Fax: +223 20 24 13 03/44 90 00 65
Email: ctra@ctra-sai.com
www.ctra-sai.com

FUNDING : WORLD BANK (IDA)



FEBRUARY 2024


NATIONAL INSTITUTE FOR ROADS (INAE)



UNITY - DISCIPLINE - WORK





Final Version

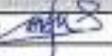
PREPARATION OF PRELIMINARY DESIGN, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT ASSESSMENT AND BIDDING DOCUMENTS FOR DESIGN-AND-BUILD CONTRACT FOR CONSTRUCTION OF BRIDGE OVER THE RIVER LEMBÁ AND A BRIDGE BRIGOMA








**FINAL REPORT
 GEOTECHNICAL REPORT**

B	23/008/STP/DIT	February 2024	Final edition	LM 	Ab.S 	A.D.K 
A	23/008/STP/DIT	October 2023	First edition	LM	B.C	A.D.K 
Index	Project number	Date	Changes	Directed by :	Reviewed by :	Approved by :



ACI 2000
 BP 5014
 Bomatico - Mall
 Tel: +223 20 24 32 34/44 90 00 64
 Fax: +223 20 24 15 03/44 90 00 65
 E-mail: cira@cira-sas.com
 www.cira-sas.com

FUNDING : WORLD BANK (IDA)



FEBRUARY 2024

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

LISTA DE TABELAS	4
I. INTRODUÇÃO	5
II. PANORAMA GEOLÓGICO DA ZONA DO PROJETO	6
III. RECONHECIMENTO GEOTÉCNICO	7
3.1. PROGRAMA DA CAMPANHA GEOTÉCNICA.....	7
3.1.1. Pisos de plataforma	7
3.1.2. Material Gites	8
3.1.3. Exploração de pedreiras de rocha maciça	8
3.1.4. Prospeção em pedreiras de areia.....	8
3.1.5. Ponte sobre o rio Lembá e ponte sobre Brigoma	9
3.2. PRINCIPAIS RESULTADOS	9
3.2.1. Secção litológica	9
3.2.2. Resultados dos testes laboratoriais	10
3.2.3. Dados hidrogeológicos	11
4.1. MÉTODO DE FUNDAÇÃO	12
4.2. ORDEM DE GRANDEZA DAS TENSÕES NO SOLO	13
4.3. CALCULADORA HIPOTÉTICA E RESULTADOS	13
5.1. PEDREIRAS DE CASCALHO	14
5.2. MATERIAIS EMPRESTADOS	14
APÊNDICE	16

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Resultados dos ensaios laboratoriais relacionados com a fundação de estruturas	11
Tabela 2 : Nível de água na estrutura.....	11
Tabela 3 : Ordens de grandeza das tensões no solo sob os apoios da estrutura (valores em KPa) 13	
Tabela 4 : Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais efectuados em amostras de gravilha 14	
Tabela 5 : Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais efectuados em amostras de empréstimo.....	14

I. INTRODUÇÃO

O presente relatório inscreve-se no âmbito do projeto de construção de uma ponte sobre o rio Lemba e da ponte de Brigoma no distrito de Lembá em São Tomé e Príncipe. Este documento incide sobre a vertente geotécnica do projeto e inclui :

- ◆ panorâmica geológica da zona de estudo ;
- ◆ apresentação da coerência da campanha geotécnica ;
- ◆ uma análise dos resultados dos inquéritos efectuados ao nível das diferentes componentes do projeto ;
- ◆ a definição do método de fundação a adotar ao nível das duas pontes ;
- ◆ um inventário dos recursos materiais necessários para a construção das estruturas.

II. PANORAMA GEOLÓGICO DA ZONA DO PROJETO

A ilha de São Tomé está situada no Golfo da Guiné, a cerca de 300 km da costa do Gabão. Juntamente com a ilha do Príncipe e alguns ilhéus, o conjunto constitui o arquipélago de São Tomé e Príncipe.

Do ponto de vista geológico, a ilha de São Tomé insere-se no contexto geológico-tectónico do alinhamento vulcânico dos Camarões, formado por um conjunto de cadeias vulcânicas com uma extensão de cerca de 1600 km, que penetra no continente africano no sentido SW-NE. Este alinhamento vulcânico inclui porções da litosfera oceânica e continental, com uma zona de transição intermédia entre a ilha de Bioko e o Monte Camarões.

As formações geológicas são de origem basáltica, gerando também as componentes félsica, traquítica e fonolítica. O contexto é caracterizado por rochas vulcânicas que representam quatro unidades estratigráficas principais sob a forma de complexos vulcânicos de diferentes idades.

Olhando para o distrito de Lembá, a área localiza-se principalmente no complexo vulcânico de São Tomé, representado principalmente por escoadas basálticas subaéreas que cobrem cerca de 61 % da área do distrito (principalmente na metade norte), das quais 1% com piroclastos subaéreos que se diferenciam dos derrames mais antigos e com maior expressão no sector norte do distrito, em alguns casos com arcos de crateras bem definidos.

III. RECONHECIMENTO GEOTÉCNICO

3.1. PROGRAMA DA CAMPANHA GEOTÉCNICA

Os objectivos das investigações geotécnicas são :

- ◆ a determinação da capacidade de carga do solo de suporte da plataforma das vias de acesso de cada estrutura com vista ao dimensionamento do corpo da via ;
- ◆ a procura de jazidas e pedreiras que possam produzir os materiais de qualidade necessários à construção das vias de acesso e das duas estruturas (reposições de aterro, materiais de pavimento, agregados para o pavimento, areia e agregados para o betão,...) ;
- ◆ a definição do método de fundação de duas estruturas e o seu dimensionamento.

É de salientar que, depois de visitar os locais das duas estruturas previstas e tendo em conta as condições locais do sítio, se concluiu que a superfície das formações aluviais não é adequada para a realização de sondagens mecânicas pesadas, tais como sondagens com núcleo, medidor de pressão ou mesmo penetrómetros dinâmicos.

Por conseguinte, foi considerado prudente começar por escavações de reconhecimento com pá antes de decidir sobre a possibilidade de efetuar sondagens pesadas com alguns trabalhos preparatórios.

O programa de investigação geotécnica é resumido a seguir.

3.1.1. Pisos de plataforma

Está prevista a realização de quatro (04) sondagens manuais ao longo das vias de acesso das duas estruturas, ou seja, uma sondagem para cada margem do rio. Os materiais amostrados serão submetidos a ensaios de identificação completa e ensaios de capacidade de suporte (Proctor e CBR)..

As escavações serão efectuadas no solo existente, ou seja, fora da plataforma rodoviária existente. Devem ter uma dimensão mínima de 1,00 m x 1,00 m com uma profundidade de 1,00 m. Cada escavação será objeto de uma secção descritiva da estratificação das formações encontradas. As pesquisas devem ser concluídas imediatamente após a recolha das amostras.

As amostras recolhidas serão submetidas a testes de identificação no laboratório, incluindo

- ◆ análise granulométrica NF P 94-056 ;
- ◆ Limites de Atterberg NF P 94-051 ou equivalente em areia ;
- ◆ teor natural de água NF P 94-050 ;
- ◆ peso específico NF P 94-054 ;
- ◆ teor de matéria orgânica NF P 94-055.

Após a identificação, as amostras serão classificadas (classificação HRB ou GTR) e serão submetidas a ensaios de elevação (Proctor modificado NF P 94-093 e CBR NF P 94-078 a 3 energias após 96 horas de imbibição).

3.1.2. Material Gites

Os empréstimos de materiais naturais para as camadas do pavimento e para o corpo do aterro serão procurados nas zonas mais próximas dos locais das pontes. Dada a natureza do projeto, deverá ser identificada e prospectada uma jazida por estrutura. Para cada jazida serão efectuados quatro (04) furos de sondagem com uma dimensão mínima de 1,5 m x 1,5 m e uma profundidade igual a 2 m. Cada furo de reconhecimento será amostrado quatro (4) vezes para análise laboratorial.

Cada empréstimo será listado pelas suas coordenadas geográficas através de um GPS e será objeto de um :

- ◆ um diagrama da situação em relação ao local da estrutura ;
- ◆ um plano dos inquéritos efectuados ;
- ◆ uma estimativa da superfície reconhecida ;
- ◆ Uma estimativa do volume utilizável com possíveis extensões e camadas subjacentes.

As amostras recolhidas serão submetidas aos testes de identificação completos, nomeadamente :

- ◆ análise granulométrica (NF P 94-056) ;
- ◆ Limites de Atterberg (NF P 94-051) ou equivalente em areia ;
- ◆ teor natural de água (NF P 94-050) ;
- ◆ peso de ensaio ;
- ◆ teor de matéria orgânica.

Após identificação, as amostras serão classificadas (classificação HRB ou GTR) e serão submetidas a ensaios de compactação e elevação (Proctor modificado NF P 94-093 e CBR NF P 94-078 a 3 energias após 96 horas de imbibição).

3.1.3. Exploração de pedreiras de rocha maciça

Os agregados que serão utilizados para o fabrico de betão hidráulico, brita para camadas de pavimento e fabrico de betão betuminoso e/ou pavimento de duas camadas, serão provenientes da pedreira mais próxima em funcionamento. As rochas serão submetidas aos seguintes ensaios laboratoriais:

- ◆ Um teste Los Angeles NF EN 1097-2 ;
- ◆ Ensaio de micro-desvio a húmido e a seco NF EN 1097-1 ;
- ◆ Ensaio de peso específico NF EN 1097-6.

3.1.4. Prospeção em pedreiras de areia

As investigações geotécnicas localizarão dois potenciais depósitos de areia (02), localizados mais perto do projeto.

Os depósitos de areia serão monitorizados por GPS. Será igualmente elaborado um diagrama de situação e uma avaliação do volume utilizável do material.

Os ensaios laboratoriais a efetuar nas duas amostras colhidas nos dois depósitos de areia enumerados incluirão, para cada amostra

- ◆ análise granulométrica NF P 94-056 ;
- ◆ A areia equivalente NF P 18-598 ;
- ◆ O teor de matéria orgânica ;
- ◆ Peso de ensaio ;
- ◆ Densidade aparente NF EN 1097-6 ;
- ◆ O módulo de finura NF P 94-056.

3.1.5. Ponte sobre o rio Lemba e ponte sobre Brigoma

O programa de investigação geotécnica para cada ponte incluirá a realização de quatro (04) sondagens no leito do rio. Essas sondagens correspondem a escavações manuais ou mecânicas, com a coleta de amostras de cada formação encontrada. Estas escavações deverão ter uma dimensão mínima de 2,00 m x 1,00 m com uma profundidade de 3 a 5 m, ou até ao leito rochoso se existir. Cada escavação será objeto de uma secção descritiva da estratificação das formações encontradas. As pesquisas devem ser concluídas imediatamente após a recolha das amostras.

Ao nível do rio Lemba, serão efectuadas escavações contra os apoios da estrutura existente, de modo a perceber o modo e eventualmente o nível da fundação da antiga estrutura.

Os materiais amostrados serão submetidos a ensaios de identificação completa e ensaios de capacidade de suporte (Proctor e CBR), nomeadamente:

- ◆ análise granulométrica - NF P 18-560 ;
- ◆ Limites de Atterberg - NF P 94-051, ou equivalente em areia - NF P 18-598 ;
- ◆ teor de água, NF P 94-050 ;
- ◆ densidade aparente, NF EN ISO 17828 ;
- ◆ pesos específicos, EN ISO 7971-3 ;
- ◆ ensaios de compressão simples em rocha, NF P 94-420 ;
- ◆ Análise química das águas subterrâneas: CO₂ agressivo (EN 13577), S₀₄ - (NF EN 196-2), Mg⁺⁺ (ISO 7980), NH₄⁺ (NF T 90-015) e Ph (NF EN ISO 10523).

3.2. PRINCIPAIS RESULTADOS

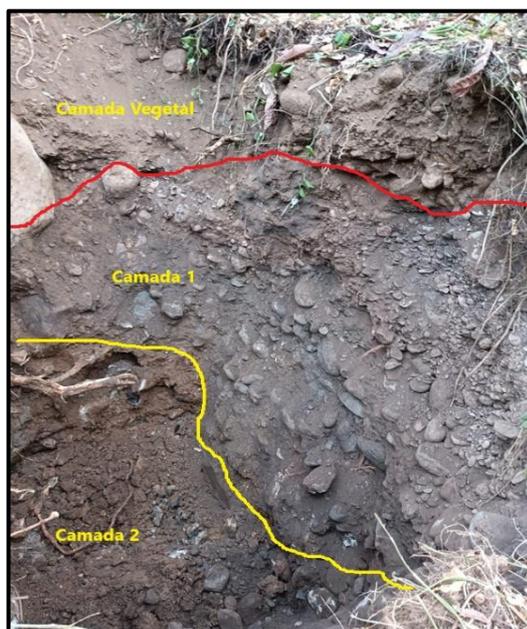
3.2.1. Secção litológica

O exame das secções das escavações de reconhecimento efectuadas no âmbito do presente estudo revelou um predomínio de formações de seixos com uma matriz arenosa-siltosa. É de salientar a abundância de seixos, cujas dimensões variam consideravelmente. As escavações não permitiram atingir a base das camadas aluvionares superficiais, pelo que não foi possível caracterizar as camadas mais profundas da rocha-mãe.

As fotografias seguintes ilustram a natureza do assento do lado direito das duas estruturas.



Fotografias 1 & 2 : Fotos das escavações f1 e F3 à direita da ponte de Lembá



Fotos 3 & 4 : Fotos das escavações f2 e F1 à direita da ponte Brigoma

3.2.2. Resultados dos testes laboratoriais

A análise dos resultados dos testes laboratoriais para as diferentes amostras recolhidas revelou os seguintes resultados principais.

Tabela 1 : Resultados dos ensaios laboratoriais relacionados com a fundação de estruturas

Local	Escavações	Teor de humidade (%)	Equivalente de areia (%)	A. G	Limites		Proctor		.CBR %	CLASSE AASHO
				#200	ELE	IP	W	g/cm ³		
Lembá	F1	6	45	5.4	-	-	-	-	-	-
	F2	12.2	70	4.0	-	-	-	-	-	-
	F3	14.5	77	2.9	-	-	-	-	-	-
	F4	8.8	65	4.3	-	-	-	-	-	-
	F1	8.7	62	2.3	NP	NP	14	1.94	23	A-2-4 (0)
	f2	36	26	40.3	58	17	31.5	1.478	3	A-7-5 (14)
Brigoma	F1	17.7	18	20.5	-	-	-	-	-	-
	F2	10.3	73	3.3	-	-	-	-	-	-
	F3	10.3	65	1.6	-	-	-	-	-	-
	f1	20.9	24	13.1	37	5	22.3	1.67	3	A-4 (8)
	f2	14.9	22	12.5	49	11	18.3	1.796	13	A-7-5 (10)

Os parâmetros de identificação assim obtidos confirmam as secções das escavações efectuadas com um predomínio de elementos grosseiros e uma matriz areno-siltosa de baixa a média plasticidade.

3.2.3. Dados hidrogeológicos

De acordo com os resultados da campanha geotécnica, e à data das escavações (2023), o nível estático situa-se a uma profundidade próxima da superfície. O nível de água registado nas diferentes escavações é apresentado no Tabela seguinte:

Tabela 2 : Nível de água na estrutura

Escavação	Ponte Lembá (m)		Ponte Brigoma (m)	
	Escavação em profundidade	Nível da água	Escavação em profundidade	Nível da água
F1	2,20	Não verificado	1,0	Não verificado
f2	1,60	Não verificado	1,5	Não verificado
F1	3,60	1,24	2,40	Não verificado
F2	3,60	1,40	3,4	2,0
F3	4,30	0,80	3,0	1,4
F4	3,5	1,20	3,0	Executado no leito do rio

IV. IMPLICAÇÕES PARA O MÉTODO DE FUNDAÇÃO

4.1. MÉTODO DE FUNDAÇÃO

Tendo em conta a dominância aluvionar que constitui as formações de cobertura rochosa e dada a abundância de seixos nos locais das estruturas, não foi possível efetuar investigações pesadas para a caracterização das camadas profundas da rocha. Assim, para o resto do estudo, adoptamos a hipótese de que as formações aluvionares continuam em profundidade. Esta hipótese deverá ser verificada pelo empreiteiro durante a fase de construção.

Para pontes sobre rios, a solução técnica mais óbvia seria um método de fundações profundas que descesse até ao nível do leito rochoso mecânico. No entanto, a adoção de um tal método de fundação para as estruturas actuais confronta-se com duas dificuldades técnicas relacionadas com a presença de níveis de seixos.

De facto, os níveis aluviais superficiais colocam dois tipos de problemas:

O primeiro problema diz respeito à caracterização das formações dos bancos. De facto, a presença de níveis de seixos coloca enormes constrangimentos em relação à possibilidade de perfurar e segurar as paredes para poder realizar os ensaios.

O segundo problema diz respeito à execução de estacas. De facto, na presença de grandes níveis de seixos, seria praticamente impossível perfurar sem que houvesse grandes riscos de instabilidade da parede que poderiam comprometer o sucesso da operação de execução da fundação. Isto continua a ser válido mesmo se considerarmos a utilização de revestimento de estacas, uma missão que seria muito difícil de ser bem sucedida, especialmente na presença do risco de deformação e ovalização da extremidade da bainha.

Perante estes constrangimentos, e para não propor um método de fundação que seria inviável na prática, recomendamos que se opte por um tipo de fundação semi-profunda em grandes enchimentos de betão.

O nível de ancoragem das fundações deve ser rebaixado a uma profundidade suficiente para evitar o risco de erosão. Por outro lado, devem ser tomadas as medidas necessárias para que a operação de construção das fundações tenha o máximo de hipóteses de sucesso. Em função da profundidade de ancoragem, pode ser necessário recorrer a trabalhos de terraplanagem junto à estrutura para permitir a execução das fundações.

De facto, para profundidades de ancoragem superiores a 4 m, será necessário prever uma limpeza geral de 2,5 m de profundidade à direita de cada um dos apoios com a possibilidade de generalizar a escavação em vários apoios de modo a facilitar os trabalhos e minimizar os riscos de instabilidade na fase provisória. Lateralmente, a escavação deverá ser graduada em taludes suficientemente suaves para permitir a execução das grandes massas de betão em segurança.

Será necessário tomar as medidas necessárias para garantir que o grande enchimento de betão seja despejado fora de água. Para o efeito, a Empresa instalará os dispositivos de rebaixamento necessários (poços equipados com bombas) para evitar o contacto entre as massas de betão de enchimento e a água durante um período mínimo de 3 horas após o vazamento.

4.2. ORDEM DE GRANDEZA DAS TENSÕES NO SOLO

As ordens de grandeza das tensões no solo em relação aos apoios das estruturas previstas são resumidas no quadro seguinte.

Tabela 3 : Ordens de grandeza das tensões no solo sob os apoios da estrutura (valores em KPa)

ULS - Situação sustentável e transitória	SLS - combinação de características	SLS - combinação quase permanente
405	300	250

4.3. CALCULADORA HIPOTÉTICA E RESULTADOS

Para o dimensionamento das fundações das estruturas, baseámo-nos nas recomendações do Eurocódigo 7 (Aplicação às fundações superficiais NF P 94-261), referindo-nos aos parâmetros de resistência ao corte das formações rochosas.

Note-se que para os seixos de matriz arenosa-siltosa que caracterizam a base das duas estruturas, adoptámos uma coesão nula. Para o ângulo de atrito, baseámo-nos num valor seguro de 35°.

Assim, verificámos a capacidade de suporte da base de apoio para o nível de ancoragem recomendado (5,5 m de profundidade em relação ao nível do terreno natural inicial).

Os cálculos foram efectuados utilizando o código de cálculo GEOFOND desenvolvido pela GEOS INGENIEURS CONSEILS.

Os resultados correspondentes mostram claramente que, para as condições de ancoragem recomendadas, não deve haver nenhum problema específico de capacidade de suporte.

V. AVISO DE RECEPÇÃO DE MATERIAIS EMPRESTADOS

5.1. PEDREIRAS DE CASCALHO

Para a pesquisa de cascalho, os materiais analisados neste estudo são:

- ◆ amostras de rocha recolhidas na pedreira de Samulin ;
- ◆ amostras de rocha retiradas da pedreira ACA.

Os principais resultados das análises laboratoriais são resumidos no Tabela seguinte.

Tabela 4 : Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais efectuados em amostras de gravilha

Local de recolha	Tipo de cluster	Los Angeles	Densidade e absorção de água	
			Densidade	Absorção de água
Samulina	5/10	23	2.14	1.1
	10/30	20	2.12	1.4
	20/40	20	2.09	1.8

5.2. MATERIAIS EMPRESTADOS

Relativamente aos depósitos emprestados, três locais foram amostrados e caracterizados em laboratório.

Os principais resultados das análises laboratoriais são resumidos no Tabela seguinte.

Tabela 5 : Resumo dos resultados dos ensaios laboratoriais efectuados em amostras de empréstimo

Local de recolha	Número da amostra	Los Angeles	Densidade e absorção de água	
			Densidade	Absorção de água
Vila Braga	243	17	2.82	1.2
Túnel de Santa Catarina	244	20	2.76	2.6
Cadon	245	17	2.9	0.8

Os resultados das análises sugerem que os produtos identificados têm coeficientes de Los Angeles (LA) satisfatórios com valores entre 17 e 20. Estes materiais podem ser utilizados tanto para betão hidráulico como para materiais de hidrocarbonetos.

VI. CONCLUSÃO

A análise dos dados geotécnicos específicos do local das travessias dos dois rios correspondentes respetivamente a Lembà e Brigoma evidenciou a presença de uma cobertura aluvial constituída por um predomínio de seixos de várias dimensões com uma matriz silto-arenosa.

Em comparação com os tipos de investigações geotécnicas, não era possível realizar sondagens pesadas, tais como sondagens com núcleo, medidores de pressão ou mesmo penetrómetros dinâmicos. De facto, na presença de seixos, a realização de sondagens convencionais era muito difícil ou mesmo impossível. Para contornar esta dificuldade, foi efectuada uma campanha baseada em escavações a céu aberto que foram levadas até ao limite das profundidades possíveis.

De acordo com as secções de escavação, confirmou-se que as formações aluvionares continuam para além dos 4,3 m (limite das profundidades investigadas). Estas escavações confirmaram a presença de rochedos de dimensões decimétricas ou mesmo superiores, o que constitui um enorme constrangimento no que respeita à caracterização das camadas subjacentes e à execução das fundações.

Tendo em conta considerações hidráulicas e com base numa estimativa segura do valor da profundidade de escoamento, considerou-se sensato optar por uma fundação semi-profunda do tipo sapata sobre aterro de betão rebaixado a profundidades entre 5,5 e 6,0 m.

Na presença do lençol freático e a fim de reduzir ao máximo as dificuldades de colocação das fundações, recomenda-se prever uma limpeza parcial da base dos apoios antes de proceder à execução do grande enchimento de betão. Uma primeira escavação de cerca de 2,5 m seria prevista antes da realização das escavações para os grandes blocos de betão que teriam de ser vazados sob bombagem, a fim de evitar o risco de lavagem do betão fresco. Estas disposições devem garantir que os blocos de betão grosseiro sejam mantidos fora de água até o cimento endurecer (um mínimo de 3 horas após o vazamento dos blocos).

Para fundações semi-profundas corretamente ancoradas, e na presença de uma rocha aluvial com uma matriz arenosa, não deverá haver problemas particulares de suporte de carga. No entanto, será necessário tomar as medidas de proteção necessárias para proteger as fundações contra o risco de erosão. Isto pode ser conseguido através da proteção das fundações com enrocamentos devidamente dispostos.

No que diz respeito aos materiais de serviço, os resultados das análises laboratoriais efectuadas nas diferentes jazidas e pedreiras prospectadas mostraram que a zona é fornecida com materiais de qualidade e que não deverá haver problemas particulares, quer para o fabrico de betão hidráulico, quer para a produção de agregados de qualidade necessários para as camadas de pavimento.

APÊNDICE

APÊNDICE I: RESULTADOS DA CAMPANHA GEOTÉCNICA

APÊNDICE II: RESULTADOS DO GEOFOND - CAPACIDADE DE SUPORTE

APÊNDICE III: ESQUEMA DAS ESCAVAÇÕES

APÊNDICE I: RESULTADOS DA CAMPANHA GEOTÉCNICA

APÊNDICE II : RESULTADOS DO GEOFOND

APÊNDICE III : ESQUEMA DE ESCAVAÇÃO