

Caracterização dos Solos da Ilha de São Luís para fins de Pavimentação

Walter Canales Sant'Ana

Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, Brasil, canalessantana@uol.com.br

Liedi Legi Bariani Bernucci

Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, liedib@usp.br

RESUMO: Considerando a expansão viária da capital do estado do Maranhão, São Luís e das cidades que compõe sua região metropolitana, São José de Ribamar, Paço do Lumiar, Maiobão e Raposa, além da dificuldade de encontrar solos adequados ao uso em camadas de base, sub-base e reforço do subleito, em distâncias de transporte compatíveis às restrições financeiras impostas aos orçamentos das obras viárias, buscou-se reunir neste artigo, as características de diversos tipos de solos coletados em várias regiões da ilha de São Luís. Submeteram-se as amostras coletadas aos ensaios usuais de caracterização e à avaliação de suas propriedades mecânicas de interesse à pavimentação. Inicialmente, realizou-se um mapa geotécnico da ilha de São Luís baseado na interseção dos mapas geológico e pedológico, resultando em 17 unidades geotécnicas, das quais nove têm áreas mais expressivas. Destas, quatro unidades foram escolhidas para coleta: duas por representar mais da metade da área da ilha e com potencial claro de utilização na pavimentação; uma por representar o único local com indícios de solo fino laterítico e a última por representar os solos inadequados à pavimentação. Foram coletadas vinte amostras de solo destas quatro unidades para realização dos ensaios de granulometria, limites de plasticidade e liquidez e ainda, aqueles ensaios necessários para a classificação do solo na metodologia MCT (Miniatura Compactado Tropical). Após avaliação dos resultados dos ensaios de caracterização, escolheram-se as amostras de solos adequadas ao uso na pavimentação para complementação dos estudos com ensaios de compactação, CBR (California Bearing Ratio) e módulo de resiliência. Os solos coletados foram classificados segundo a TRB (Transport Research Board), SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) e MCT, além da umidade ótima e peso específico aparente seco máximo. Foram apresentados ainda os resultados de CBR e mini-CBR com respectivas expansões. Por fim, os resultados de módulo de resiliência segundo formato de dois modelos usuais de representação das equações. Assim, espera-se contribuir com dados de localização, características físicas e propriedades mecânicas de solos da Ilha de São Luís para pesquisadores e profissionais da área de pavimentação.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação, Caracterização de Solos, MCT.

1 INTRODUÇÃO

A ilha de São Luís, com área de 1453 km² (Figura 1), localiza-se numa região geomorfológica de Golfão, onde a vegetação predominante é do tipo Pioneira e Manguezal, a temperatura média fica entre 26°C e 28°C e as precipitações totais anuais médias em torno de 1800 mm em duas estações bem definidas ao

longo do ano: chuvosa e estiagem (MARANHÃO, 1998; GEPLAN, 2002).

São quatro os municípios localizados na ilha: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. São Luís, que sedia a capital do Estado, é o maior em área, população e importância (Tabela 1).

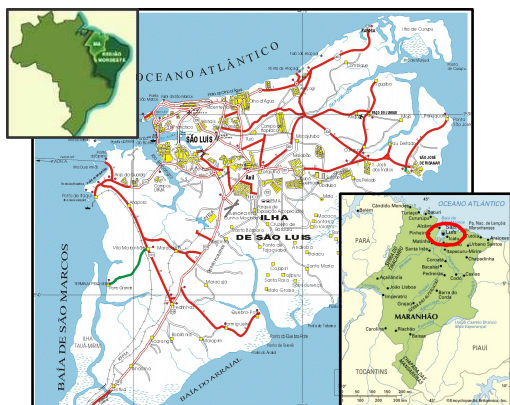


Figura 1. Localização da área de estudo deste artigo.

Tabela 1- Alguns aspectos dos municípios da área de estudo da pesquisa

<i>Município</i>	<i>Área (km²)</i>	<i>Pop. (hab)</i>	<i>IDH</i>	<i>PIB/per capita (R\$)</i>
São Luís	835	1.014.837	0,768	21.949
São José de Ribamar	388	163.045	0,708	8.009
Paço do Lumiar	123	105.121	0,724	5.111
Raposa	66	26.327	0,626	6.269

Fonte de dados: www.ibge.org.br em abril, 2016, referentes a 2010

O clima desta área é tropical quente e semi-úmido da zona equatorial e as temperaturas que caracterizam este clima variam de 22°C a 32°C. Segundo a classificação de Thornwaite, o clima é B₁WA'a', ou seja, úmido (B₁), com moderada deficiência de água (W), entre junho e setembro, onde a temperatura média mensal é superior a 18°C (A') (GEPLAN, 2002).

Existem duas estações bem definidas com duração de seis meses cada uma: de janeiro a junho ocorre a estação chuvosa, e de julho a dezembro tem-se a estação seca ou de estiagem. Os meses de fevereiro a maio são críticos para as obras viárias que envolvem a terraplenagem e a pavimentação.

Os estudos de Bezerra *et al.* (1990)¹ apud Maranhão (1998) mostram que no contexto da evolução geológica desta área destacam-se os episódios ocorridos no Cenozóico, quando toda a região norte e parte da nordeste do Brasil apresentaram um tectonismo atenuado com

movimentos epirogenéticos e fases de dissecação e aplanamento.

São registros desta época, o pacote de rochas que compõe a base da unidade geológica Formação Barreiras na área em estudo, representada por argilitos, siltitos e intercalados por placas e/ou finos níveis de folhelhos com cores púrpura, rosa e avermelhadas. Ainda ocorrem estratos de arenitos e siltitos alternados na parte superior deste pacote de rochas.

A Formação Barreiras ocupa a maior parte da ilha de São Luís e, é considerada um conjunto de rochas bem estratificado, que é constituído essencialmente de arenitos, pelitos na parte inferior, com idade entre o Paleoceno e o Pleistoceno, incluindo as lateritas. Esta Formação mostra um grau de diagênese muito baixo e os processos de laterização intrínsecos e específicos, em especial nos níveis pelíticos ricos em ferro. As condições climáticas da região, com altas temperaturas e estações secas e chuvosas bem definidas, favoreceram os processos intempéricos promotores das lateritas Paleogênicas presentes na área (MARANHÃO, 1998).

Destacam-se ainda como unidades geológicas as Lamas de Manguezais, ocupando áreas nas bordas dos rios ou do mar, os Aluviões e Coluviões fluviais, as Areias Fluvio-Marinhas, as Areias Eólicas e Dunas.

Quanto à Pedologia, as unidades mais expressivas na área de estudo estão relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2- Unidades pedológicas da ilha de São Luís

<i>Unidade Pedológica</i>	<i>Símbolo</i>	<i>%</i>
Argissolo Vermelho-Amarelo Concrecionário	PVAc	12,9
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVA	1,4
Neossolo Quartzarênico Órtico	RQOI	18,9
Latossólico		
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	RQG	1,1
Neossolo Quartzarênico Órtico	RQO	1,0
Gleissolo Háptico Alumínico	GXA	1,4
Organossolo Tiomórfico	OJ	11,5
Área Urbanizada	AURB	13,9
Águas Territoriais e Internas	ATI	37,7

Fonte de dados: Sant'Ana, 2005; Embrapa, 2006.

A classe Argissolo Vermelho-Amarelo Concrecionário compreende solos com seqüência de horizontes A-Bt-C, com grande

¹ BEZERRA, P.E.L. et al. Projeto zoneamento das potencialidades dos recursos naturais da amazônia legal. Convênio F.IBGE/SUDAM. Rio de Janeiro, 1990, p.91-164.

quantidade de calhaus e cascalhos de origem laterítica num horizonte ou ao longo de todo perfil. Está ainda associada às áreas de relevo forte ondulado (morros de 100 m a 200 m e declives de 20% a 45%) e vegetação de Floresta Tropical Subperenifolia Dicótilo-Palmácea (babaçual). O horizonte A apresenta percentuais de argila e areia, com 20% a 50% de cascalho.

O horizonte B apresenta um teor de argila maior, aliado a um percentual de cascalho de até 50% com estrutura em blocos subangulares (MARANHÃO, 1998).

Para melhor caracterização dos solos fez-se a composição de um mapa geotécnico (Figura 2) da área do presente trabalho, coincidente com os limites da ilha de São Luís usando a metodologia de Dias (1987), estimando unidades onde é possível prever o comportamento do solo, nela disposto, conforme a sua gênese pedológica e geológica (SANT'ANA, 2005).

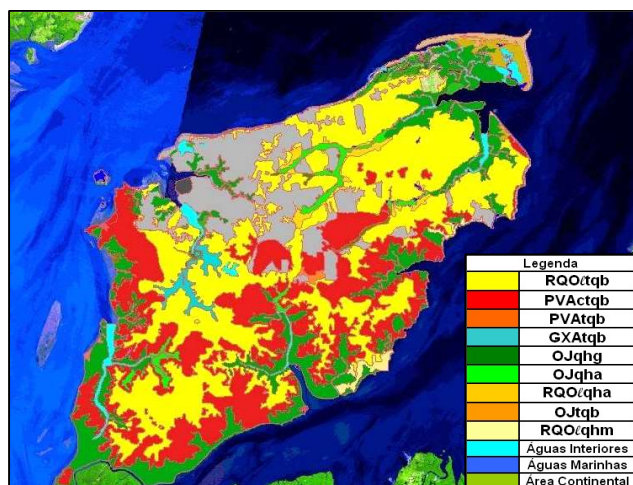


Figura 2. Mapa Geotécnico da Ilha de São Luís (Sant'Ana, 2009)

A sobreposição dos mapas pedológico e geológico da ilha de São Luís originou 17 unidades geotécnicas (Tabela 3), das quais 9 têm áreas mais expressivas para disposição em mapa.

As unidades geotécnicas Neossolo Quartzarênico Órticos Latossólicos – Formação Barreiras (RQOltqb) e Argissolo Vermelho-Amarelo Concrecionário – Formação Barreiras (PVActqb) são as duas que se destacam no mapa geotécnico da ilha de São Luís. Solos arenosos e solos concrecionários lateríticos são aqueles potencialmente encontrados nessas

unidades, respectivamente. Evidentemente, as unidades geotécnicas indicam tendências, que podem não se configurar no campo, tendo como principal motivo as imprecisões de escala ou de levantamento nos mapas pedológico e geológico.

Tabela 3 - Principais unidades geotécnicas resultantes na ilha de São Luís (Sant'Ana, 2009)

<i>Unid. Geológica</i>	<i>Unidade Pedológica</i>	<i>Unid. Geot.</i>
Formação Barreiras	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	RQGtqb
	Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico	RQOltqb
	Argissolo Vermelho-Amarelo Concrecionário	PVActqb
	Neossolo Quartzarênico Órtico	RQOltqb
	Argissolo Vermelho-Amarelo	PVAtqb
	Organossolo Tiomórfico	OJtqb
	Gleissolo Háptico	GXAtqb
	Argissolo Vermelho	PVtqb
	Gleissolo Háptico Aluminoso	GXAqhg
Lamas de Manguezais	Organossolo Tiomórfico	OJqhg
	Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico	RQOlqhg
Aluviões e Coluviões Fluviais	Organossolo Tiomórfico	OJqha
	Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico	RQOlqha
Areias Eólicas e Dunas	Neossolo Quartzarênico Órtico Típico	RQOqhe
	Organossolo Tiomórfico	OJqhe
Areias Marinhas	Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico	RQOlqhm
	Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico	NQOqhm
Lit.	Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico	NQHqhm
Areias Fluvio-	Argissolo Vermelho-Amarelo Concrecionário	PVAcqhf

No caso da unidade geotécnica PVActqb (Argissolo Vermelho-Amarelo Concrecionário - Formação Barreiras), os solos concrecionários lateríticos não são encontrados em toda área dessa unidade, não só pelos motivos apontados no parágrafo anterior, mas ainda, pelo processo de formação das concreções lateríticas, caso se encontre em andamento.

2 COLETA DE MATERIAL

A partir do mapa geotécnico da ilha de São Luís buscou-se programar coletas de material nas unidades mais representativas da área de estudo.

Complementou-se a análise por meio de

exame tátil-visual do solo, verificando sua adequabilidade de uso em pavimentação. As unidades que se enquadraram nesta condição foram: RQOltqb, PVAtqb, PVActqb e RQOlqhm.

Foram coletadas vinte amostras no total, que por unidade geotécnica assim se distribuíram: PVActqb (Argissolo Vermelho-Amarelo concrecionário/Formação Barreiras): 10 amostras, RQOltqb (Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico/Formação Barreiras): seis amostras, PVAtqb (Argissolo Vermelho Amarelo/Formação Barreiras): uma amostra, RQOlqhm (Neossolo Quartzarênico Órtico Latossólico/Areias Marinhas Litorâneas): uma amostra, GXAtqb (Gleissolo Háptico Aluminoso + Neossolo Quartzarênico Hidromórfico/Formação Barreiras): duas amostras.

As escavações para as coletas não ultrapassaram 1,50 m. Complementaram este equipamento básico, um *laptop* com software *SPRING* e um equipamento de navegação (GPS), que possibilitou a leitura das coordenadas de localização e sua posição nas unidades geotécnicas georreferenciadas do mapa geotécnico visto no computador.

Todos os pontos de coleta foram georreferenciados e a nomenclatura das amostras neste trabalho é o número do ponto constante no equipamento GPS à época da coleta. As profundidades dos poços variaram de 0,25 m a 1,50 m, sempre se desprezando o horizonte A, constituído por material orgânico. Nas jazidas de cascalho laterítico foram desprezadas as concreções de diâmetro superior a 76 mm.

A classificação pedológica dos locais de coleta foi conduzida seguindo o perfil da trincheira, efetuando análise tátil-visual dos horizontes identificados. As espessuras dos horizontes eram anotadas, bem como os resultados da análise tátil-visual, para posterior confrontação com outros poços relativamente próximos de outros trabalhos pedológicos executados.

Para os ensaios de caracterização física e mecânica dos solos foram coletados em torno de 150 kg no caso dos solos que apresentavam concreções lateríticas, e 90 kg para os demais, havendo esta diferença devido à substituição da

fração superior a 19 mm, para certos ensaios, por fração intermediária (entre 4,8 mm e 19 mm).

As amostras coletadas eram encaminhadas ao Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da Universidade Estadual do Maranhão para secagem ao ar e realização de alguns ensaios de caracterização, como granulometria, limites de Atterberg, compactação e CBR. Já para os ensaios MCT (mini-MCV, perda de água por imersão, mini-Proctor e mini-CBR), pastilhas MCT e módulo de resiliência, foram remetidas amostras, em quantidades suficientes, para o Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da USP em São Paulo.

Das 20 amostras coletadas, 17 são representativas dos subleitos, sub-bases ou bases de pavimentos da área de estudo. Os reforços de subleito, sub-bases e bases de praticamente todas as vias de tráfego da área de estudo, constituem-se de solo laterítico estabilizado granulometricamente.

A Tabela 4 apresenta um resumo do material coletado, com a nomenclatura adotada para condução dos ensaios, sua classificação geotécnica conforme a área de onde foi retirado, a caracterização visual.

Tabela 4 – Resumo da coleta de material para os ensaios deste trabalho (Sant'Ana, 2009)

<i>Item</i>	<i>Amostra</i>	<i>Unidade Geotécnica</i>	<i>Característica Visual</i>
1	90	RQOltqb	Arenoso
2	92	PVActqb	Cascalho Laterítico
3	92-F	PVActqb	Areno-argiloso
4	160	PVAtqb	Arenoso
5	220	RQOqhm	Areia
6	277	PVActqb	Arenoso
7	278	RQOltqb	Arenoso
8	324	RQOltqb	Cascalho Laterítico
9	326	GXAtqb	Areno-argiloso
10	335	PVActqb	Arenoso
11	347	RQOltqb	Cascalho Laterítico
12	349	RQOltqb	Silto-arenoso
13	356	RQOltqb	Cascalho laterítico
14	367	PVActqb	Cascalho laterítico
15	424	PVActqb	Cascalho laterítico
16	428	GXAtqb	Argiloso
17	448 BA	PVActqb	Areno-argiloso
18	448 SA	PVActqb	Areno-siltoso
19	448 AR	PVActqb	Areia
20	449	PVActqb	Arenoso

3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

A granulometria das amostras seguiu a DNER 051/94 e foi apresentada com destaque para os solos concrecionários lateríticos (Figura 3) em contraste aos solos finos (Figura 4).

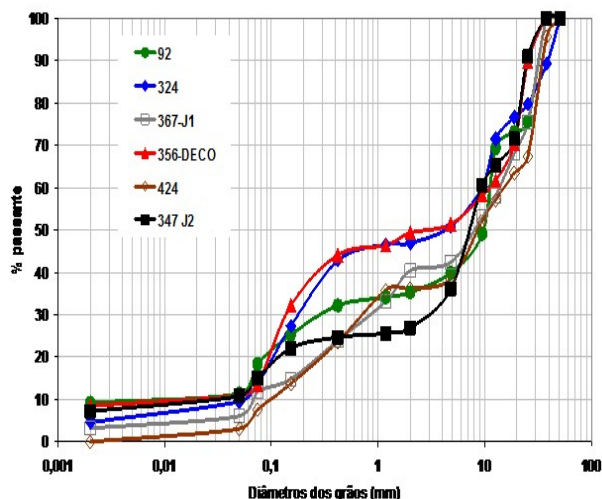


Figura 3. Granulometria de solos graúdos (Sant'Ana, 2009)

As curvas granulométricas dos solos lateríticos apresentaram uma descontinuidade entre as peneiras de abertura 4,75mm e 0,42mm.

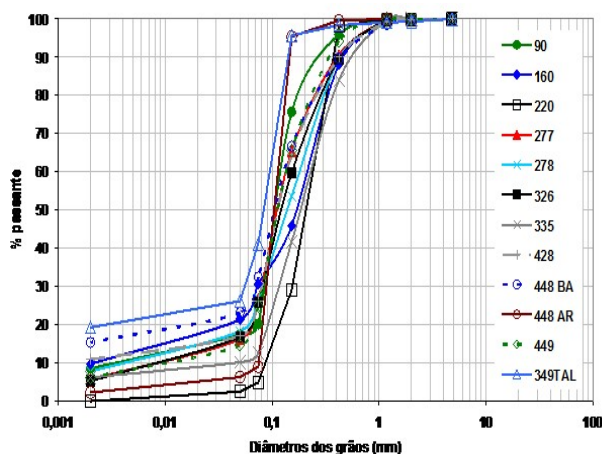


Figura 4. Granulometria do solo fino (Sant'Ana, 2009)

A Tabela 5 apresenta os índices de consistência das amostras e as classificações da TRB e da SUCS. O ensaio de limite de liquidez (LL) seguiu a norma DNIT-ME 122/94 e ensaio de limite de plasticidade seguiu DNIT-ME 082/94.

A predominância é de solos arenosos e pedregulhosos o que pode ser levado como representativo da ilha de São Luís.

Tabela 5 – Índices de consistência (%), granulometria (%) e classificações TRB e SUCS (Sant'Ana, 2009)

Amostra	LL	LP	IP	I.G.	TRB	SUCS
90	15	NP	NP	0	A-2-4	SM
92	23	17	6	0	A-1-b	GM
92F	33	23	10	2	A-4	SM
160	16	12	4	0	A-2-4	SM
220	NL	NP	NP	0	A-3	SP
277	10	NP	NP	0	A-2-4	SM
278	NL	NP	NP	0	A-2-4	SM
324	NL	NP	NP	0	A-1-b	GM
326	12	NP	NP	0	A-2-4	SM
335	16	NP	NP	0	A-2-4	SM
347	24	18	6	0	A-1-a	GM
349	23	21	2	2	A-4	SM
356	21	16	5	0	A-1-b	GM
367	17	16	1	0	A-1-a	GP
424	16	NP	NP	0	A-1-a	GP
428	15	NP	NP	0	A-2-4	SM
448 BA	16	NP	NP	0	A-2-4	SM
448 SA	14	NP	NP	0	-	S
448 AR	NL	NP	NP	0	A-2-4	SP
449	NL	NP	NP	0	A-2-4	SM

A Tabela 6 apresenta estes resultados não só pela classificação desenvolvida por Nogami e Villibor (1981), como também pela classificação modificada (MCT-M), proposta por Vertamatti (1988).

Tabela 6 – Classificação MCT e MCT-M dos solos coletados, segundo ensaio mini-MCV (Sant'Ana, 2009)

Amostra	Unid. Geot.	MCT mini-MCV	MCT-M
90	RQOltqb	NS'	NS'
92 - finos*	PVActqb	LG'	TG'
92-F	PVActqb	LG'	TA'G'
160	PVAtqb	LA'	TA'
220	RQOqhm	NA'	TA'
277	PVActqb	NA'	TA'
278	RQOltqb	NA'	TA'
324 - finos*	RQOltqb	NA'	TA'
326	GXAtqb	NA'	TA'
335	PVActqb	NA'	TA'
367- finos*	PVActqb	NA'	TA'
356 - finos*	RQOltqb	NA'	TA'G'
424 - finos*	PVActqb	NA'	TA'
428	GXAtqb	NA'	TA'
448 S/A	PVActqb	LA	LA
448 BA	PVActqb	NA'	TA'
448 AR	PVActqb	NA	NA
449	PVActqb	NA'	TA'
349	RQOltqb	NA'	TA'
347- finos*	RQOltqb	NA'	TA'

A classificação proposta por Vertamatti (1988), considera em classes distintas, os solos ainda em processo de laterização, os silto-argilosos e os areno-argilosos.

Note-se que apenas quatro amostras (92, 92F, 160 e 448SA) apresentam comportamento laterítico segundo a MCT convencional. Destas, a 92 representa a parte fina de uma jazida de concreção laterítica e a 92F representa o fundo desta jazida. Na ilha de São Luís praticamente não existem solos lateríticos considerando que é uma bacia sedimentar e pelo que foi constatado pelos ensaios, seja pela quantidade de amostras que resultaram positivo para laterítico, como pela característica das unidades geotécnicas que forneceram as amostras.

Cabe ressaltar que a classificação MCT é destinada aos solos finos, logo as amostras de solos concrecionários foram ensaiadas considerando as suas frações finas.

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de compactação das amostras de maneira a evidenciar o peso específico aparente seco e a umidade ótima delas. Nesta tabela também é possível comparar os resultados obtidos pelas metodologias convencional e MCT.

Tabela 7 – Peso específico aparente seco máximo e umidade ótima, segundo DNIT-ME 162/94 e DNIT-ME 228/94 (Sant'Ana, 2009)

Amostra	Unidade geotéc.	Proctor (PI)		Mini Proctor (PI)	
		p.e.a.s. máx. (kN/m³)	h _{ót.} (%)	p.e.a.s. máx. (kN/m³)	h _{ót.} (%)
90	RQOltqb	18,32	11,3	17,97	7
92	PVActqb	21,94	7,3	-	-
92-F	PVActqb	19,6	14,3	19,75	14
160	PVAtqb	20,46	9,1	20,99	8,3
220	RQOqhm	17,44	3,9	16,91	4,2
277	PVActqb	20,31	10,0	20,7	8,9
278	RQOltqb	19,57	8,6	19,11	5,3
324	RQOltqb	22,62	8,1	-	-
326	GXAtqb	19,64	10,3	19,62	8,3
335	PVActqb	18,68	10,2	18,5	9
347	RQOltqb	20,93	8,6	-	-
349	RQOltqb	19,68	11,6	21,65	12,4
356	RQOltqb	21,15	10,2	-	-
367	PVActqb	20,8	7,2	-	-
424	PVActqb	22,29	6,3	-	-
428	GXAtqb	19,29	9,3	19,35	9,4

448 S/A	PVActqb	-	-	19,74	9
448 BA	PVActqb	-	-	20,62	8,6
448 AR	PVActqb	-	-	-	-
449	PVActqb	19,63	9,7	19,39	9,5

Também na investigação da resistência dos solos a partir do tradicional ensaio CBR, foi feito também o ensaio mini-CBR, da metodologia MCT. A energia adotada, do Proctor Intermediário, segue o que é praticado nas obras rodoviárias para as camadas de pavimentação (Tabela 8).

Tabela 8 – Resultados de CBR e expansão das amostras coletadas na área de estudo (DNIT-ME 049/94 e DNIT-ME 254/97) (Sant'Ana, 2009)

Am.	Unidade geotéc.	CBR (%)		EXP (%)	
		PI CBR	PI mini-CBR	PI CBR	PI mini-CBR
90	RQOltqb	22	9	0,2	0,1
92	PVActqb	67	-	0,0	-
92-F	PVActqb	17	17	0,4	0,5
160	PVAtqb	34	33	0,0	0,0
220	RQOqhm	10	0	0,0	0,0
277	PVActqb	25	25	0,0	0,0
278	RQOltqb	7	6	0,0	0,0
324	RQOltqb	58	-	0,0	-
326	GXAtqb	11	12	0,0	0,1
335	PVActqb	17	11	0,3	0,0
347	RQOltqb	64	-	0,0	-
349	RQOltqb	28	24	0,1	0,1
356	RQOltqb	14	-	0,0	-
367	PVActqb	57	-	0,1	-
424	PVActqb	95	-	0,0	-
428	GXAtqb	31	10	0,0	0,4
448 S/A	PVActqb	-	20	-	0,2
448 BA	PVActqb	-	18	-	0,0
448 AR	PVActqb	-	-	-	-
449	PVActqb	39	9	0,8	0,2

Note-se que seguindo o que preconizam as normas do DNIT de execução de bases e sub-bases, apenas uma amostra (424) seria indicada para base com qualquer tipo de tráfego. Outras duas (92 e 347) poderiam ser empregadas em bases para tráfegos até $N=5 \times 10^6$. Em sub-bases, oito amostras (90, 160, 277, 324, 367, 428, 449 e 349) podem ser indicadas adotando-se as normas do DNIT.

4 ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA

As amostras foram submetidas ao ensaio de módulo de resiliência com resultados possíveis para 15 amostras, visto que as demais tiveram avarias nos corpos-de-prova na preparação ou mesmo durante o ensaio impedindo a sua efetivação.

Os resultados são apresentados segundo dois modelos de equações. O primeiro (Tabela 9), em função do primeiro invariante de tensões Θ que representa a soma das tensões atuantes no ensaio ($\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$). O modelo foi concebido na década de 60 por Brown e Pell (1967), tornando-se interessante por usar as tensões de ensaio de maneira não isolada. O segundo modelo (Tabela 10) foi apresentado por Macedo (1996) e utiliza a tensão confinante σ_3 e a tensão de desvio σ_d além dos parâmetros experimentais k_1 , k_2 , k_3 .

Tabela 9 - Módulos de Resiliência dos solos estudados segundo modelo de Brown e Pell (1967)

<i>Modelo</i>		$MR = k_1 \Theta^2$			
Am.	Unidade Geotec.	k_1	k_2	R^2	
90	RQOltqb	8,7	0,5582	0,98	
092F	PVActqb	1906	-0,7714	0,91	
160	PVAtqb	69,1	0,2698	0,88	
220	RQOqhm	19,8	0,4407	0,74	
277	PVActqb	18,05	0,468	0,94	
278	RQOltqb	4,8	0,6513	0,99	
335	PVActqb	15,51	0,4955	0,96	
428	GHAtqb	14,55	0,5057	0,98	
448 S/A	PVActqb	32,5	0,3541	0,88	
449	PVActqb	16,7	0,4743	0,97	
349	RQOltqb	61,81	0,2487	0,87	
324	RQOltqb	23,5	0,4207	0,95	
424	PVActqb	6,02	0,6988	0,99	
092	PVActqb	52,16	0,4426	0,90	

Tabela 10 - Módulos de Resiliência dos solos estudados segundo modelo de Macedo (1996)

<i>Modelo</i>		$MR = k_1 \sigma_3^{k_2} \sigma_d^{k_3}$			
Am.	Unidade Geotec.	k_1	k_2	k_3	R^2
90	RQOltqb	21	0,3888	0,1534	0,99
092F	PVActqb	302	0,016	-0,0725	0,93
160	PVAtqb	113	0,2475	0,0109	0,99
220	RQOqhm	35	0,4463	0,0382	0,99
277	PVActqb	37	0,4206	0,0532	0,99
278	RQOltqb	13	0,4764	0,1713	0,99
335	PVActqb	33	0,4042	0,0923	0,99
428	GHAtqb	31	0,3715	0,1335	0,99
448 S/A	PVActqb	55	0,36	0,0053	0,99
449	PVActqb	33	0,3633	0,1160	0,99
349	RQOltqb	92	0,2312	0,0186	0,99
324	RQOltqb	41	0,2055	0,2130	0,99
424	PVActqb	16	0,4475	0,2539	0,99
092	PVActqb	97	0,2143	0,2184	0,97

5 CONCLUSÕES

O trabalho apresentou inicialmente um mapa geotécnico que deixa claro que as unidades predominantes são Neossolo Quartzarênico Órticos Latossólicos – Formação Barreiras (RQOltqb) e Argissolo Vermelho-Amarelo Concrecionário – Formação Barreiras (PVActqb). Ambos apresentam solos de características diversos, mas dentro de uma amplitude que vai de bons subleitos a boas bases para tráfegos baixos, conforme pode ser comprovado pelas tabelas apresentadas.

Ficam estabelecidas equações para as diversas amostras que fornecerão uma indicação dos módulos de resiliência conforme se pretenda dispor este solo na estrutura do pavimento.

Enfim, um conjunto de informações aos pesquisadores e engenheiros sobre os solos existentes na ilha de São Luís e sua adequabilidade ao uso na pavimentação.

REFERÊNCIAS

- Brown, S.F. e Pell, P.S. (1967). An experimental investigation of the stresses, strains and deflections in a layered pavement structure subjected to dynamic loads, *Second international conference structural design of asphalt pavements*, Ann Arbor, USA, 1967, pp 487-504.
- Dnit. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994) *Método de ensaio 049: solos – determinação do CBR para amostras não trabalhadas*. Rio de Janeiro, 14 p.
- _____. *Método de ensaio 051: solos – análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 12 p.
- _____. *Método de ensaio 082: solos – determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 3 p.
- _____. *Método de ensaio 122: solos – determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 7 p.
- _____. *Método de ensaio 162: solos – compactação utilizando amostras trabalhadas*. Rio de Janeiro, 7 p.
- _____. *Método de ensaio 228: solos – compactação em equipamento miniatura*. Rio de Janeiro, 14 p.
- _____. (1997) *Método de ensaio 254: solos compactados em equipamento miniatura – mini-CBR e expansão*. Rio de Janeiro, 14 p.
- Dias, R. D. (1987) *Aplicação da pedologia e geotecnia no projeto de fundações de linhas de transmissão*. Tese de Doutorado – COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 309 p.
- Embrapa Solos (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2ª ed. Rio de Janeiro, 306 p.
- Geplan (2002) - Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento – Uema. *Atlas do Maranhão*. São Luís: Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento – Uema, 44 p.
- Macedo, J. A. F. G. (1996) *Interpretação de ensaios defletométricos para avaliação estrutural de pavimentos flexíveis*. Tese de Doutorado - COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 456 p.
- Maranhão (1998). Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Coordenadoria de Programas Especiais. Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. *Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís e dos municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. Estudo de Geologia*. São Luís: Sema/Mma/Pnma, 31 p.
- Nogami, J. S. e Villibor, D. F. (1981) Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias, *Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia*, COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, v. 1. p. 30-41.
- Sant'Ana, W. C. (2005) A técnica de cruzamento de mapas para orientar serviços de pavimentação. In: *Reunião Anual da Anpet*, Florianópolis. Resumo dos trabalhos CD-ROM.
- Sant'Ana, W. C. (2009) *Contribuição ao Estudo de Solo-Emulsão em Pavimentos de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego para o Estado do Maranhão*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Transportes e Infra-estrutura, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 109-155.
- Vertamatti, E. (1988) *Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e resiliente*. Tese de Doutorado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 298 p.