

BOGOSSIAN F. et LOPES P.C.C.

Geomecanica S.A., Brésil

Etudes récentes en vue de l'utilisation de sols brésiliens dans les massifs en terre armée

Recent studies of the use of Brazilian soils in reinforced earth embankments

In this paper the authors report the results of laboratory tests performed with the intent of ascertaining the behaviour of Brazilian soils with a view to their use in reinforced earth embankments.

The brief introduction is followed by an outline of the methodology adopted in the performance of the tests, which does not differ from that used in France both at the L.C.P.C. and the C.E.B.T.B., as the authors found on a visit to those labs before the tests were carried out.

The results are tabulated here in summary form and the origin of the samples is shown in a location map.

The authors comment on the results obtained and conclude with some significant remarks on the behaviour of the fine grain soils so prevalent in Brasil.

This paper describes the careful technical approach that has attended the introduction to Brasil of reinforced earth.

The interpretation of these results by the authors may represent a contribution to the rational development of this technique in other countries where similar soils occur.

Finally, the results obtained with fine Brazilian soils have warranted the definitive conclusion that they may be used satisfactorily in reinforced earth structures with no substantial limitations liable to restrict their application in Brasil, where they are quite widespread.

1. INTRODUCTION

Au Brésil, avant de commencer à utiliser le procédé Terre Armée, on a fait (à l'aide d'un laboratoire de géotechnique brésilien indépendant) des études des caractéristiques des sols locaux dans le but de leur emploi comme matériaux de construction des massifs en Terre Armée.

Outre les essais courants de caractérisation et de compactage, on a réalisé des essais de pH, de résistivité et de cisaillement direct sur sol et terre-armature, comme il sera détaillé plus loin.

Ce procédé, qui fait partie des études auxquelles on recourt quand on prétend réaliser un projet Terre Armée, a permis aux auteurs de traiter un ensemble significatifs de résultats d'essai, la plupart relatifs aux sols fins typiques du Brésil.

Ce travail contient des commentaires sur les résultats obtenus et quelques considérations finales importantes sur le comportement des sols fins. Pour finir, on conclut qu'ils sont utilisables dans des massifs en Terre Armée dans des conditions satisfaisantes, indépendamment des restrictions à leur emploi basées uniquement sur le pourcentage des grains fins.

2. METHODOLOGIE DES ESSAIS

2.1.-Essais de caractérisation

Ils ont consisté en analyse granulométrique, avec sédimentation, limites de liquidité et de plasticité en dehors de la détermination de la masse spécifique réelle des grains du sol.

Sur la base des limites d'Atterberg, on a calculé les indices de plasticité. Ces essais ont permis de classer les sols selon le Système Unifié de Classement de Sols (S.U.C.S.) et selon l'"Highway Research Board" (H.R.B.).

On a suivi les recommandations de l'Association Brésilienne de Normes Techniques (Bibliographie 6.1.).

2.2.-Essais de pH

On a procédé conformément aux recommandations figurant dans la Bibliographie 6.2. en employant un potentiomètre à électrodes en verre.

2.3.-Essais de compactage

Ils ont été exécutés avec l'énergie de l'essai Proctor Normal selon le procédé MB-33 de l'ABNT (Bibliographie 6.1.).

2.4.-Essais de résistivité

On a procédé selon les recommandations préconisées par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Bibliographie 6.3.).

2.5.-Essais de cisaillement direct sur sol

Les essais étaient du type rapide sur un échantillon moulé dans les conditions optimales d'essai de compactage et imbibé avant l'essai. On a respecté les recommandations, de T.Akroyd (Bibliographie 6.4.).

Pour chaque essai, on a interpolé une droite en fonction des points de tension maximum de

cisaillement, déterminés à partir des courbes tension cisaillement (σ) x déformation spécifique ($\Delta e / e$) et de la tension normale appliquée (σ).

Comme cohésion, on a adopté l'ordonnée déterminée par l'intersection de cette droite avec l'axe (σ) et, comme angle de frottement, celui qui est formé par la même droite avec l'axe (σ).

2.6.-Essais de cisaillement terre-armature

Les essais du type consolidé-rapide ont été exécutés conformément à l'exposé de la bibliographie 6.5., respectées les recommandations préconisées par le L.C.P.C.

3. PRESENTATION DES RESULTATS

3.1.-Localisation

La carte à l'annexe n° 1 indique la région du Brésil d'où ont été prélevés les échantillons essayés.

Chaque localisation est désignée par un numéro qui est répété dans les tableaux synoptiques des résultats, cf. paragraphe 3.2.

3.2.-Tableaux synoptiques généraux

Les dessins annexes n° 2 présentent les résultats des essais exécutés dont la méthodologie est décrite au chapitre 2.

4. ANALYSE DES RESULTATS

Le graphique annexe 3 présente les résultats des angles de frottement terre-armature mesurés par rapport au pourcentage de matériau passant par le crible n° 200.

De cette analyse on peut déduire que :

4.1.-Les valeurs mesurées pour l'angle de frottement terre-armature à l'aide de la boîte de cisaillement varient de manière erratique en fonction du pourcentage des grains fins du matériau sans qu'on puisse établir des corrélations ou même des tendances pour l'univers de valeurs à présent disponibles.

4.2.-La plupart des sols essayés a présenté des pourcentages de grains fins (matériau passant par le crible n° 200) supérieurs à 20% (vingt pour cent), mais, présentant, malgré cela, des valeurs élevées (jusqu'à 25°) pour les angles de frottement terre-armature.

4.3.-Des sols présentant des pourcentages de grains fins, supérieurs à 50% (cinquante pour cent) ont indiqué une valeur moyenne de l'angle de frottement de l'ordre de 23°.

5. CONCLUSION

5.1.-Le comportement quant à la résistance terre-armature peut être considéré favorable même dans des sols à hauts pourcentages passant par le crible n° 200.

5.2.-La composition de cette fraction devra être mieux analysée pour pouvoir évaluer avec plus de précision l'effet nuisible des particules d'argile et de silt sur la résistance au cisaillement.

5.3.-Des critères de relation expéditifs exclusivement fondés sur le pourcentage de

finances pourront induire en erreur d'évaluation du comportement d'un matériau en rendant impraticable l'occurrence d'un matériel au (gisement) adéquat.

6. BIBLIOGRAPHIE

6.1.-A.B.N.T. "Normas Brasileiras-Solos e Pavimentação" - 1958.

6.2.-VETTORI, Leandro - "Métodos de Análises de Solos-Boletim técnico nº 7-E.P.E." Ministère de l'Agriculture-Juillet 1969.

6.3.-L.C.P.C.-"Modes Operatoires des essais de mesures de résistivité et de pH de sols" Mars 1975.

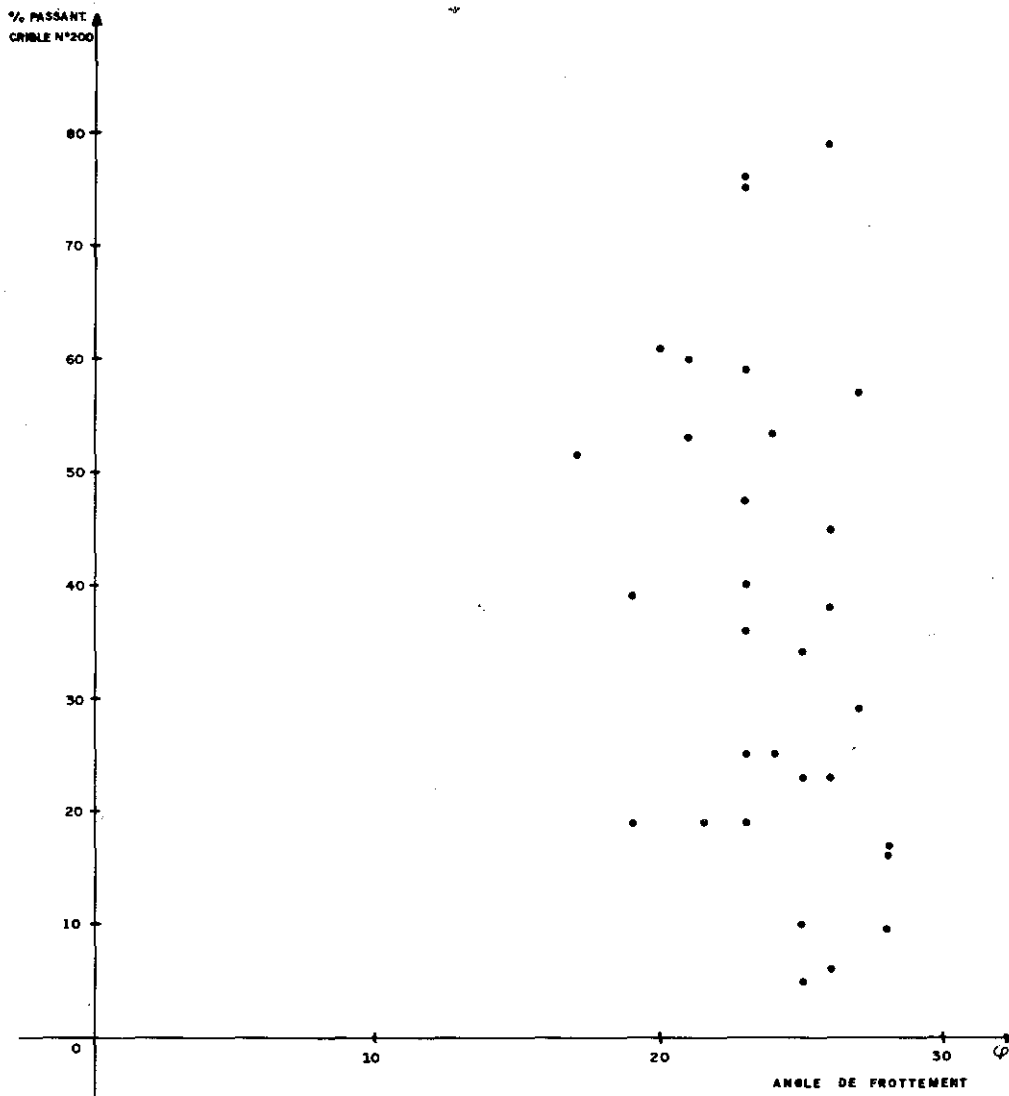
6.4.-AKROYD, T-"Laboratory Testing in Soil Engineering" - Chapter VI - Direct Shear Test".

6.5.-L.C.P.C.-"Détermination du Coefficient de Frottement Terre-Armature à l'aide de la Boîte de Cisaillement"-Mars 1974.



- 1) PARÁ
- 2) BAHIA
- 3) MINAS GERAIS
- 4) RIO DE JANEIRO
- 5) SÃO PAULO
- 6) PARANÁ
- 7) SANTA CATARINA
- 8) RIO GRANDE DO SUL

CARTE DE LOCALISATION



VARIATION DE L'ANGLE DE FROTTEMENT PAR RAPPORT AU POURCENTAGE DE FINS

ÉTUDES RÉCENTES EN VUE DE L'UTILISATION DE SOLS BRÉSILIENS DANS LES MASSIFS EN TERRE ARMÉE

BOGOSSIAN, FRANCIS
LOPES, PAULO CESAR CORREA

ANNEXE N° 2
PAGE 1

CÂRTE DE LOCALISATION N°	CLASSIFICATION		% ARGILE < 0,005 mm	% PASSANT CRIBLE N° 200	L.L. (%)	I.P. (%)	γ_s (g/cm ³)	PH	RESISTIVITÉ	CI SAILLEMENT DIRECT			
	"H.R.B."	"U.S.C.S."								ECHANTILLON	TIPE	COHESION	ϕ°
1	A2-4	SM	7	25	—	NP	2,65	—	—	TUCURUI Margem eq. Valeta de es- coamento d'agua.	LCPC	0,000	24
2.	1 A-6	SC	24	30	33,8	19,4	2,68	—	—	—	—	—	—
	2 A7-6	CH	27	63	54,4	25,3	2,72	—	—	—	—	—	—
3	A7-6	CL	27	80	41,2	18,2	2,61	—	—	ESTACA 2571 + 2,95	$\gamma_s = 1739/cm^3$ hOPT=18,3%	0,780	36
	A7-6	ML	19	61	41,2	11,3	2,66	—	—	ESTACA 205 - LE MG-010/420	LCPC	0,000	20
	A7-6	CH	34	65	50,0	20,0	2,68	—	—	TALUDE DO CORTE DO LADO DA LAGOA.	—	—	—
	A1-b	SM	6	23	—	NP	2,63	—	—	ESTACA 320 - LE MG 010/424	LCPC	0,020	25
	A1-d	GP	—	7	—	NP	—	—	—	—	—	—	—
	A-6	SC	16	46	32,9	15,5	2,75	—	—	—	—	—	—
	A1-b	SM	1	10	—	NP	2,68	—	—	Polico dos Exportes, Ga- mg, BH.	LCPC	0,000	28
	A7-6	CL	15	53,3	47	26	2,68	9,31	177 904	A	LCPC	0,08	24
	A7-6	CL	28	51,3	43	22	2,63	—	—	B		0,08	17
	4	A-3	SP	—	0	—	NP	—	—	—	5	GEOMECANICA	0,00
1 A7-6		CH	39	61	64,0	34,8	2,65	—	—	TALUDE MATERIAL CRÍTICO	—	—	—
2 A7-6		SC	23	43	57,2	27,3	2,65	—	—		—	—	—
3 A7-5		MH	45	70	75,8	32,4	2,60	—	—		—	—	—
1 A2-6		SC	20	34	34,6	15,2	2,65	—	—	ATERRO	LCPC	0,040	28
2 A2-6		SC	14	28	27,4	14,0	2,64	—	—		—	—	—
3 A2-4		SM	15	33	37,1	8,3	2,56	—	—		—	—	—
A2-4	SM	9	22,8	—	NP	2,80	—	—	LOTE 306-04	LCPC	0,030	28	
A1-b	SW	3	9,4	—	NP	2,70	—	—	LOTE 306-04 CORTE 19	LCPC	0,080	28	

TABLEAU SYNOPTIQUE GÉNÉRAL

L É G E N D E

HRB - "HIGHWAY RESEARCH BOARD"
USCS - "UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM"
LL - LIMITE DE LIQUIDITÉ
IP - COEFFICIENT DE PLASTICITÉ
 γ_s - MASSE SPÉCIFIQUE RÉELLE DE GRAINS

PH - POTENCIAL HIDROGENIE
 γ_s - POID SPÉCIFIQUE SEC
h - TENEUR EN EAU
 ϕ - ANGLE DE FROTTEMENT
NP - NON PLASTIQUE

ÉTUDES RÉCENTES EN VUE DE L'UTILISATION DE SOLS BRÉSILIENS DANS LES MASSIFS EN TERRE ARMÉE

BOGOSSIAN, FRANCIS
LOPES, PAULO CÉSAR CORRÊA

ANNEXE Nº 2
PAGE 2

CARTE DE LOCALISATION Nº	CLASSIFICATION		% ARGILE < 0,005 mm	% PASSANT CRIBLÉ Nº	L.L. (%)	I.P. (%)	ρ (g/cm ³)	PH	RÉSISTIVITÉ	CISAILLEMENT DIRECT							
	"H.R.B."	"U.S.C.S."								ECHANTILLON	TIPE	COHESION	ϕ°				
4										I	GEOMECÂNICA	0,00	23				
	A1-B-	SM	7	16	—	NP	—	—	—	IB	LCPC	0,00	28				
5	A-4	SM SC	5	23	—	NP	2,68	8,2	81.540	2	GEOMECÂNICA	0,00	24				
											LCPC	0,00	25				
											$\gamma_s = 1,802 \text{ g/cm}^3$ $\gamma_s \text{ max}$	0,18	43				
											$h_{opt} = 140\%$	0,17	33				
	A-6	CL	11	75	36,8	21,4	2,77	8,0	201.450	PROVENIEN- TE DE ESCAVAÇÃO SEM LOCALIZAÇÃO	$\gamma_s = 1,420 \text{ g/cm}^3$ $\gamma_s \text{ max}$ $h_{opt} = 30,3\%$	0,100	34				
	A-6	CL	25	59	38,0	18,4	2,61	—	—	JAZIDA Raphael Cre co-S'º Ge- mo, Colombo	LCPC	0,080	23				
	A-6	SC	15	40	33,8	14,4	2,55	—	—		LCPC	0,080	23				
6										CISAILLEMENT DIRECT							
										γ_h (g/cm ³)	h (%)	γ_s (g/cm ³)	COHESION (kg/cm ²)		ϕ°		
													NAT	SAT	NAT	SAT	
		A7-5	CH	62	86	76,2	43,8	2,60									
		A7-6	CH	37	57	64,9	47,7	2,55		1,688	36,1	1,243	0,260			9	
		A7-6	CH	64	36	68,2	38,9	2,62		1,714	75,9	0,952		0,120		19	28
		A7-6	CH	50	87	60,0	38,6	2,65		1,584	52,7	1,081	0,170			19	8
		A-6	OL	31	55	39,1	13,9	2,67		1,606	60,0	1,035		0,100			
		A7-5	CH	49	89	78,1	47,2	2,48									
		A7-6	CL	44	67	48,4	32,1	2,59		1,694	48,7	1,139	0,045		0,050		5
		A7-6	CH	32	88	77,3	61,0	2,43		1,302	48,7	1,007	0,045				
		A7-5	MH	77	99	78,3	31,9	2,72		1,684	65,8	0,943					
		A7-6	CH	56	89	66,7	38,1	2,63									
		A7-6	CH	59	96	71,2	46,1	2,31									
		A-6	CL	32	54	37,9	22,5	2,53		1,642	64,9	0,998		0,140			15
				54	98	—	I	2,48		1,810	32,1	1,370	0,140				12
										1,026	30,4	1,339		0,190			7
		A7-6	CH	42	82	68,3	49,5	2,63									
		A7-5	OH	34	79	58,7	25,9	2,46		1,748	54,3	1,302		0,110			40
		A-6	SC	17	43	32,8	19,2	2,37		1,668	36,8	1,277	0,360				24
	A7-6	MH	28	56	51,6	23,4	2,61		1,875	51,5	1,106		0,135			24	
	A7-5	MH	34	81	61,0	24,9	2,56										
	A2-7	SC	17	31	53,7	32,7	2,55		1,705	37,4	1,241	0,200				32	
	A7-6	CH	25	57	60,6	35,5	2,71		1,939	25,8	1,543		0,100			53	
	A-6	SC	21	50	33,7	19,4	2,51		1,852	53,7	1,388		0,215			32	

TABLEAU SYNOPTIQUE GÉNÉRAL

L É G E N D E

HRB—"HIGHWAY RESEARCH BOARD"
USCS—"UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM"
LL- LIMITE DE LIQUIDITÉ
IP- COEFFICIENT DE PLASTICITÉ
 ρ - MASSE SPÉCIFIQUE RÉELLE DE GRAINS

PH- POTENCIAL HIDROGENIE
 γ_s - POID SPÉCIFIQUE SEC
N - TENEUR EN EAU
 ϕ - ANGLE DE FROTTEMENT
NP - NON PLASTIQUE

ÉTUDES RÉCENTES EN VUE DE L'UTILISATION DE SOLS BRÉSILIENS DANS LES MASSIFS EN TERRE ARMÉE

BOGOSSIAN, FRANCIS
LOPES, PAULO CÉSAR CORRÊA

ANNEXE Nº 2
PAGE 3

CARTE DE LOCALISATION Nº	CLASSIFICATION		% ARGILE <0005 mm	% PASSANT CRIBLE Nº200	L.L. (%)	I.P. (%)	γ_s (g/cm ³)	PH	RESISTIVITÉ	CISAILLEMENT DIRECT				
	"H.R.B."	"U.S.C.S."								ÉCHANTILLON	TIPE	COHESION	ϕ°	
6	A7-B	MM	20	60,0	55,2	20,7	2,61	5,11	99 265	E-20	LCPC	0,09	21	
	A-6	SM	18	47,5	37,2	25,7	2,69	4,68	65 230	E-21	LCPC	0,070	23	
7	A-3	SP	5	6	—	NP	—	—	—	3	GEOMECÂNICA	0,00	24	
	A-3	SP	5	8	—	NP	—	—	—	38	LCPC	0,00	26	
	A2-4	SC	8	19	22,0	9,4	2,61	—	—	—	km 54 BR 470	LCPC	0,030	19
													0,030	23
													0,010	21,5
	A-6	CL	21	38	34,5	16,0	—	—	—	4	GEOMECÂNICA	0,00	24	
	A1-b	SW	4	5	—	NP	2,65	6,1	18.300	—	Jazida km 65	LCPC	0,00	25
											Jazida km 66	$\gamma_s = 1,92g/cm^3$ $\phi_{opt} = 10,6^\circ$	0,06	44
	A-6	SC	20	36	24,5	10,9	2,66	4,7	124.530	Da Jazida	LCPC	0,06	23	
	A-6	CL	17	53	25,4	11,3	2,72	4,7	55.236	De km 90		0,08	21	
	A7-6	CL	50	76	47,8	26,6	2,74	4,80	45.660	km 54 BR-470	LCPC	0,050	23	
	A7-6	ML	38	61	44,5	17,5	2,62	—	—	ATERRO DO CARTÃO	—	—	—	—
	A1-b	SM	20	38	—	NP	2,66	5,78	34.245	CORTE 34 C	LCPC	0,000	26	
	A-6	SC	12	33	30,2	13,4	2,71	—	—	CORTE 34	—	—	—	—
	A-6	CL	12	57	31,4	16,2	2,58	5,2	9.450	MORRO DOS CAVALOS	LCPC	0,010	27	
A-4	SM	7	45	—	NP	2,65	—	—	—	BR-101	LCPC	0,000	26	
										km 233+ 800m-LD		0,020	26	
A2-4	SM	3	29	—	NP	2,69	—	—	BR-101 km 259 + 900m	LCPC	0,000	27		
A1-b	SM	2	17	—	NP	2,60	—	—	BR-101 km 264	—	0,020	26		
A-4	SM	10	39	—	NP	—	—	—	6B	LCPC	0,04	19		
8	A7-6	CL	50	79	45,5	19,1	2,69	5,3	28.660	Caixa de Em- préstimo a 2,5km da Obra	LCPC	0,00	26	

TABLEAU SYNOPTIQUE GÉNÉRAL

L É G E N D E

HRB — "HIGHWAY RESEARCH BOARD"
 USCS — "UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM"
 LL — LIMITE DE LIQUIDITÉ
 IP — COEFFICIENT DE PLASTICITÉ
 γ_s — MASSE SPÉCIFIQUE RÉELLE DE GRAINS

PH — POTENCIAL HIDROGENIE
 γ_s — POID SPÉCIFIQUE SEC
 N — TENEUR EN EAU
 ϕ — ANGLE DE FROTTEMENT
 NP — NON PLASTIQUE