

Banco de Dados de Propriedades de Compactação de Materiais de Empréstimo Empregados em Obras de Terra na Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul

Cezar Augusto Burkert Bastos

Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande/RS, Brasil, cazarbastos@furg.br

Régis Pinheiro Maria

Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande/RS, Brasil, regis.pinheiro@furg.br

RESUMO: As obras de terra que integram a infraestrutura dos diversos empreendimentos da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul necessitam de materiais de empréstimo com propriedades de compactação adequadas aos projetos que os prescrevem. São exemplos os aterros compactados e camadas de pavimentos destinados ao trânsito de veículos e ao apoio de peças da indústria naval e de geração de energia eólica. Os materiais usualmente empregados nestas obras, oriundos de jazidas situadas na própria região, são areias, argilas lateríticas e saibros. Dentro deste contexto, o Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande - FURG vem ensaiando propriedades de compactação destes materiais, especificados para emprego em diferentes obras na região. Neste trabalho, os dados dos ensaios, agrupados pela natureza dos materiais, e uma análise dos parâmetros de compactação, capacidade de suporte e expansividade são apresentados. São dados ensaios de compactação Proctor para obtenção dos parâmetros ótimos de compactação (peso específico aparente seco máximo e teor de umidade ótimo) e a ensaios CBR para determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e a expansividade, formando um valioso banco de dados de tais propriedades. Os materiais foram agrupados em: areias finas a médias com variado teor de finos e incipiente evolução pedogenética, oriundas das barreiras e cordões litorâneos quaternárias; argilas lateríticas do horizonte B de perfis de alteração de rochas graníticas do Escudo Cristalino; saibros, que constituem solos de alteração (solos saprolíticos) de granitos; e os chamados saibros britados, material produzido a partir da mistura de saibro com rocha granítica alterada britada. Exemplificando um dos resultados obtidos tem-se o destacado Índice de Suporte Califórnia do saibro britado, com valor médio de ISC de 63% na energia do Proctor Intermediário. Todos os materiais estudados têm seu emprego justificado em diferentes funções em obras de terra, em vista de suas particulares propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas, e do diferente custo. O banco de dados e as análises que este permite estão sendo continuamente acrescidos de resultados, servindo de uma importante referência para os projetos de terraplanagem.

PALAVRAS-CHAVE: Obras de Terra, Solo Compactado, Banco de Dados, Planície Costeira Sul.

1 INTRODUÇÃO

A Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul (Figura 1) se caracteriza pela carência de solos locais com boas características de compactação para emprego em obras de terra em geral (Bastos, 2004). Obras de aterros, camadas de

pavimentos, entre outros, em muito dos casos dependem de materiais de empréstimo mais nobres (saibros, argilas lateríticas e britas graduadas, p.ex.), com distância e custo de aquisição e transporte elevados. Nos projetos de terraplanagem é muito importante dispor de valores de referência das propriedades de

compactação e desta forma melhor especificar os materiais a empregar em cada aplicação. Muitas vezes são executados projetos que, antecedendo a caracterização dos materiais disponíveis, prescrevem propriedades que não são passíveis de ser alcançadas pelos materiais regionalmente disponíveis, tornando a pesquisa por jazidas uma atividade exaustiva e onerosa ou até mesmo conduzindo a posteriores alterações de projeto. Estas situações levam a indesejáveis atrasos no cronograma das obras.

Com isso, entende-se que quanto melhor forem conhecidas as propriedades dos materiais disponíveis na fase de projeto, melhores especificações podem ser realizadas com reflexos no andamento e custo das obras.

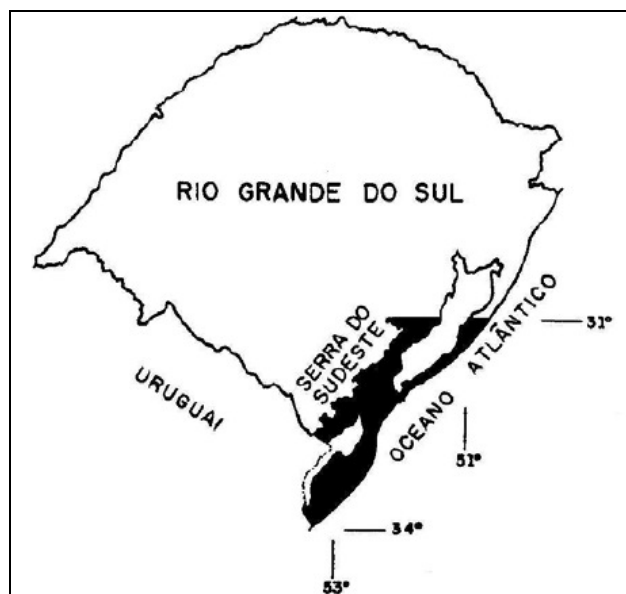


Figura 1. Planície Costeira Sul do RS (segundo definido em Bastos, 2002)

O Laboratório de Geotecnia e Concreto da Universidade Federal do Rio Grande - FURG vem ensaiando propriedades de compactação de materiais especificados para emprego em diferentes obras na região. Estes materiais foram classificados em quatro diferentes grupos: AREIAS finas a médias com pequeno teor de finos e incipiente evolução pedogenética, oriundas das barreiras e cordões litorâneos quaternários; ARGILAS LATERÍTICAS do horizonte B de perfis de alteração de rochas graníticas e gnaíssicas do Escudo Cristalino; SAIBROS, que constituem solos de alteração (solos saprolíticos) de

granitos e gnaíssicas; e os chamados SAIBROS BRITADOS, material produzido a partir da mistura de saibro com rocha alterada granítica ou gnaíssica britada. As características geotécnicas dos três primeiros foram descritas em detalhe por Bastos (2004). Pode-se associar da ocorrência destes solos com as unidades geotécnicas da região, divulgadas em Bastos et al. (2007) no mapeamento geotécnico da Planície Costeira Sul (Figura 2). As areias são encontradas nas unidades Aqsqpc e Aqsqbcd, as argilas lateríticas verificadas nas unidades PVg e Pvstqe, os saibros encontrados nas unidades Rg e PVg e os saibros britados - produzidos a partir de solos e rochas alteradas encontradas nas unidades Rg e PVg.

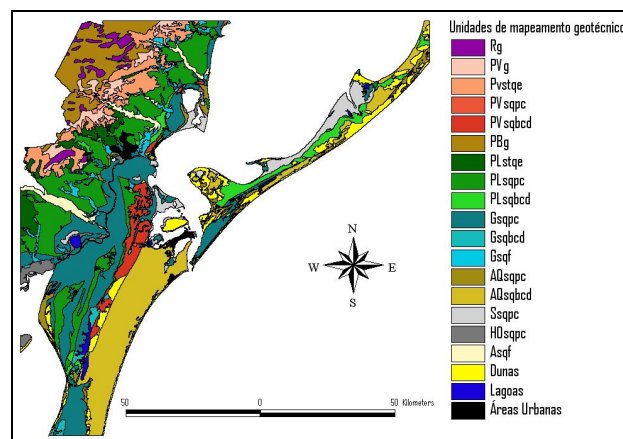


Figura 2. Carta de unidades geotécnicas para a Planície Costeira Sul (Bastos et al., 2007).

Dados obtidos de ensaios de compactação e de determinação do Índice de Suporte Califórnia com medida da expansividade realizados ao longo dos últimos quatro anos foram tabulados em um banco de dados. As propriedades inventariadas foram: peso específico aparente seco máximo, teor de umidade ótimo, Índice de Suporte Califórnia e expansividade, nas três energias padrões de compactação: Proctor Normal, Proctor Intermediário e Proctor Modificado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item tem-se uma descrição dos solos que compõe os diferentes grupos e da natureza dos ensaios realizados.

As areias incluem solos arenosos finos claros

encontrados ao longo da barreira litorânea BIV e cordões litorâneos holocênicos (Figura 3) como resultado de deposições marinhas e eólicas. São solos na maioria não plásticos, de granulometria uniforme e grãos arredondados, classificados como SP, SW ou SM e pertencentes às classes A2 ou A3. Pela Metodologia MCT estes solos são classificados na maioria NA (areias não lateríticas) e NA' (solos arenosos não lateríticos). Este solo arenoso constitui o terreno natural nos municípios litorâneos e são utilizados em aterros, aterros com menor exigência de suporte e como base em vias urbanas com menor volume de tráfego.



Figura 3. Jazida de areia em cordão litorâneo – município de Rio Grande/RS

As argilas lateríticas são solos areno-argilosos formados no horizonte B de perfis de alteração de rochas graníticas e gnaíssicas (com espessura de até 3 metros) encontradas no Escudo Cristalino Sul-Rio Grandense (Figura 4). São classificados como LG' (solos argilosos lateríticos) pela metodologia MCT e apresentam adequadas propriedades de compactação, de capacidade de suporte e estabilidade volumétrica. Apresentam permeabilidade da ordem de 10^{-8} m/s quando compactados, justificando o emprego em obras de diques, pequenas barragens e *liners* e/ou *covers* para aterros sanitários. Seu uso em obras viárias tem destaque como aterro e reforço de subleito da recente obra de duplicação da BR116 (trecho Pelotas-Guaíba).



Figura 4. Jazida de argila laterítica no Escudo Sul-Riograndense – município de Capão do Leão/RS

Os saibros são solos de alteração de rochas graníticas e gnaíssicas do Escudo Sul-Riograndense (Figura 5). São materiais granulares, com grãos de variável friabilidade, largamente empregados em obras de pavimentação em toda a região, servindo como camada de base em pavimentação urbana e como revestimento primário em estradas rurais e nos bairros da periferia dos municípios da região. Estudos já têm mostrado o variado comportamento destes saibros quanto a suporte e expansão e a variação significativa nestas propriedades quando os valores de umidade de compactação flutuam em torno do teor ótimo. A classificação MCT mostra comportamento não laterítico da fração fina destes solos.



Figura 5. Jazida de saibro em litologia do Escudo Sul-Riograndense – município de Capão do Leão/RS

Os saibros britados são materiais produzidos a partir da mistura de saibro com material rochoso alterado britado no próprio local da jazida (Figura 6). Tal material surgiu no

mercado regional por dois motivos que se confundem como causa e consequência: 1º) o fato das maiores e licenciadas jazidas de saibro encontrar-se próximo da exaustão em vista da grande demanda dos últimos anos, aproximando a exploração do leito de rocha alterada. Soma-se ao fato a dificuldade cada vez maior no licenciamento ambiental de novas jazidas; 2º) a busca de materiais com maior capacidade de suporte que o saibro, visando atender as exigências de projeto de novas obras de infraestrutura. A mistura do material britado com o saibro geralmente não tem obedecido nenhum critério de estabilização granulométrica, sendo realizado com base no empirismo. O tamanho de grão do agregado britado incorporado à mistura difere muito entre os materiais comercializados, variando de pedras de mão até britas.



Figura 6. Jazida com a produção de saibro britado em litologia do Escudo Sul-Riograndense – município de Capão do Leão/RS

A Figura 7 apresenta curvas granulométricas típicas destes materiais. É nítida a diferença granulométrica e por consequência o comportamento geotécnico dos diferentes materiais.

Quanto à plasticidade, com base em dados de caracterização geotécnica de amostras inclusas no banco de dados, as areias apresentam-se como não plásticas (NP); as argilas lateríticas apresentam limite de liquidez (LL) entre 33% e 54%, com valor médio de 42%, e índice de plasticidade (IP) entre 12% e 21%, com média de 18%; já os saibros apresentam LL entre 23% e 45%, com valor médio de 32%, e IP de 6% a

13%, com média de 9%. Os saibros britados tem sua fração fina com plasticidade relacionada àquela da classe dos saibros.

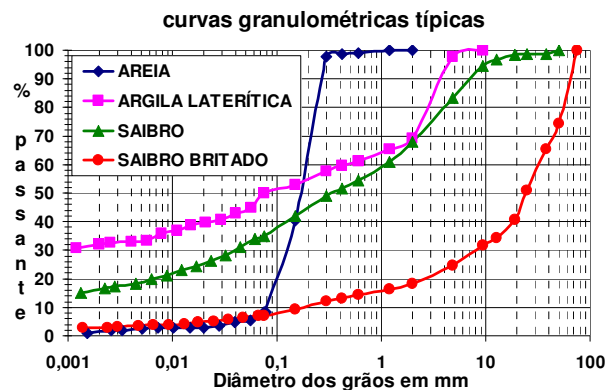


Figura 7. Curvas granulométricas típicas dos materiais

Como exercício é apresentado na Tabela 1 uma caracterização geotécnica “típica”, a partir das curvas granulométricas da Figura 7 e dos dados médios dos parâmetros de plasticidade.

Tabela 1. Caracterização geotécnica “típica” dos materiais

Material	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	LL (%)	LP (%)	Classif. HRB-AASHTO
Areia	-	94	5	1	NP	NP	A3(0)
Argila laterítica	31	20	17	32	42	18	A7-6(6)
Saibro	32	34	18	16	32	9	A2-4(0)
Saibro britado	82	11	4	3	32	9	A1-a(0)

Os dados de parâmetros de compactação que compõe o banco de dados foco deste trabalho foram obtidos de ensaios de compactação, segundo a ABNT NBR 7182/1986, e de ensaios para determinação do Índice de Suporte Califórnia com medida de expansividade, segundo a ABNT NBR 9895/1987, realizados do ano de 2012 até então. São ensaios realizados em diferentes energias de compactação: normal, intermediária ou modificada.

Foram reunidos dados de 110 amostras dos quatro materiais estudados. O número de jazidas de origem das amostras é impreciso (portanto não divulgado) em virtude da falta de informação fidedigna por parte dos solicitantes dos ensaios.

3 RESULTADOS ALCANÇADOS

A Tabela 2 resume os resultados dos ensaios de compactação, trazendo os dados sobre peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d_{\max}}$) e teor de umidade ótimo de compactação ($w_{\text{ót}}$). São apresentados valores extremos, média ($\bar{x}$) e desvio padrão (σ) dos parâmetros para cada uma das energias padrões.

Tabela 2. Parâmetros de compactação dos materiais

Material	Parâmetro	Energia de Compactação		
		PN	PI	PM
areia	$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m ³)	15,9-18,3	16,4-19,1	16,6-20,3
		$\bar{x}=16,9$ $\sigma=0,68$	$\bar{x}=17,1$ $\sigma=0,77$	$\bar{x}=17,5$ $\sigma=1,30$
	$w_{\text{ót}}$ (%)	9,1-14,5	10,0-14,4	9,0-14,2
		$\bar{x}=12,1$ $\sigma=1,67$	$\bar{x}=12,6$ $\sigma=1,25$	$\bar{x}=12,0$ $\sigma=1,70$
argila laterítica	$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m ³)	15,4-16,5	15,9-17,0	*
		$\bar{x}=16,0$ $\sigma=0,41$	$\bar{x}=16,2$ $\sigma=0,47$	
	$w_{\text{ót}}$ (%)	17,7-23,7	18,5-21,5	*
		$\bar{x}=20,3$ $\sigma=1,94$	$\bar{x}=21,1$ $\sigma=1,33$	
saibro	$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m ³)	16,4-19,0	17,7-21,4	17,3-21,9
		$\bar{x}=17,9$ $\sigma=0,89$	$\bar{x}=19,3$ $\sigma=1,14$	$\bar{x}=19,9$ $\sigma=2,26$
	$w_{\text{ót}}$ (%)	12,4-16,4	7,7-14,8	5,0-11,3
		$\bar{x}=14,1$ $\sigma=1,34$	$\bar{x}=11,0$ $\sigma=2,25$	$\bar{x}=8,5$ $\sigma=3,03$
saibro britado	$\gamma_{d_{\max}}$ (kN/m ³)	19,2-20,6	17,4-21,1	20,0-21,4
		$\bar{x}=19,8$ $\sigma=0,61$	$\bar{x}=20,1$ $\sigma=0,73$	$\bar{x}=20,7$ $\sigma=0,67$
	$w_{\text{ót}}$ (%)	8,4-10,9	5,3-11,0	6,2-6,7
		$\bar{x}=9,6$ $\sigma=1,07$	$\bar{x}=8,2$ $\sigma=1,22$	$\bar{x}=6,5$ $\sigma=0,26$

* número insuficiente de dados para análise

Cabe destacar que os ensaios nas três energias de compactação poucas vezes foram realizados nas mesmas amostras, o que aumenta a dispersão e exige um grande número de amostras para ter a representatividade garantida. Nas figuras 8 e 9 os valores médios dos parâmetros são graficados para melhor análise.

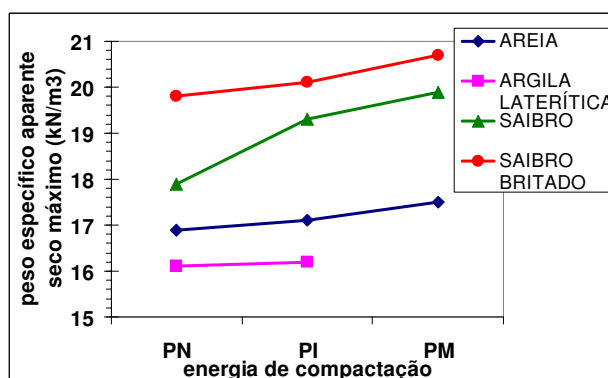


Figura 8. Valores médios de peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d_{\max}}$)

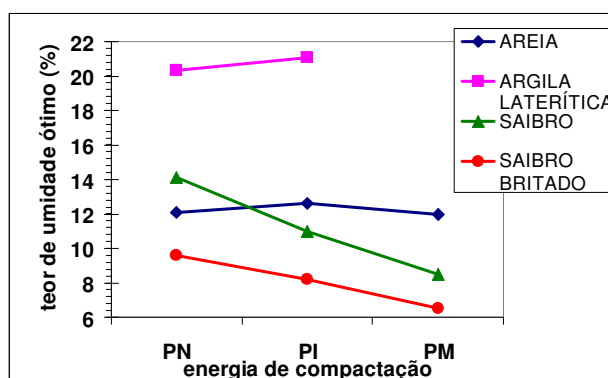


Figura 9. Valores médios de teor de umidade ótimo ($w_{\text{ót}}$)

Observa-se que os valores de densidade seca e teor de umidade ótimo de compactação tendem a aumentar e diminuir (respectivamente) na seguinte ordem: argila laterítica, areia, saibro e saibro britado. Os saibros e saibros britados mostram-se mais sensíveis em ganho de densidade seca e redução no valor de umidade ótima com o acréscimo na energia de compactação. Quanto à tendência, contrária ao esperado, de aumento do teor de umidade ótima com a energia de compactação para as argilas lateríticas, pode ser explicada pelo fato mencionado de que dados de ensaios em energias diversas terem sido obtidos de diferentes amostras. Estes solos, em particular, por muitas vezes apresentam significativa e variável contaminação com saibro na medida em que estes solos são encontrados em sucessão vertical num mesmo perfil de alteração de rocha granítica.

A Tabela 3 resume os resultados dos ensaios de determinação do Índice de Suporte Califórnia com medida de expansividade, trazendo os dados sobre o índice ISC e a expansão. São também apresentados valores

extremos, média ($\bar{x}$) e desvio padrão (σ) dos parâmetros para cada uma das energias padrões.

Nas figuras 10 e 11 os valores médios dos parâmetros são graficados para melhor análise.

Tabela 3. Parâmetros de suporte e expansão dos materiais

Material	Parâmetro	Energia de Compactação		
		PN	PI	PM
areia	ISC (%)	9-29	17-32	16-74
		$\bar{x}=16$	$\bar{x}=24$	$\bar{x}=26$
		$\sigma=5,21$	$\sigma=4,52$	$\sigma=21,2$
	expansão (%)	0-0,63	0-0,15	0
argila laterítica	ISC (%)	2-15	7-22	*
		$\bar{x}=6$	$\bar{x}=17$	
		$\sigma=4,29$	$\sigma=7,09$	
	expansão (%)	0,11-0,94	0,12-1,58	*
saibro	ISC (%)	7-17	8-35	32-55
		$\bar{x}=12$	$\bar{x}=24$	$\bar{x}=45$
		$\sigma=3,58$	$\sigma=7,96$	$\sigma=9,54$
	expansão (%)	0,02-0,17	0-1,97	0,09-1,54
saibro britado	ISC (%)	29-65	21-110	68-86
		$\bar{x}=41$	$\bar{x}=63$	$\bar{x}=76$
		$\sigma=16,7$	$\sigma=22,7$	$\sigma=9,29$
	expansão (%)	0-0,18	0-0,37	0-0,04
		$\bar{x}=0,08$	$\bar{x}=0,04$	$\bar{x}=0,01$
		$\sigma=0,08$	$\sigma=0,10$	$\sigma=0,02$

* número insuficiente de dados para análise

Os resultados mostram que os saibros britados destacam-se com valor de ISC bem maiores. São aqueles materiais que na maioria das vezes conseguem atender a projetos com exigência de ISC maior ou igual a 50%. A tendência esperada de aumento do suporte com a energia de compactação é verificada, com destaque aos saibros e saibros britados.

A expansão mostra não ser uma preocupação aos materiais estudados. Mesmo os valores extremos não superam 2%, até mesmo para o material mais argiloso (argila laterítica) e para o solo saprolítico (saibro), mesmo que este último seja passível de minerais em estágio inicial do intemperismo.

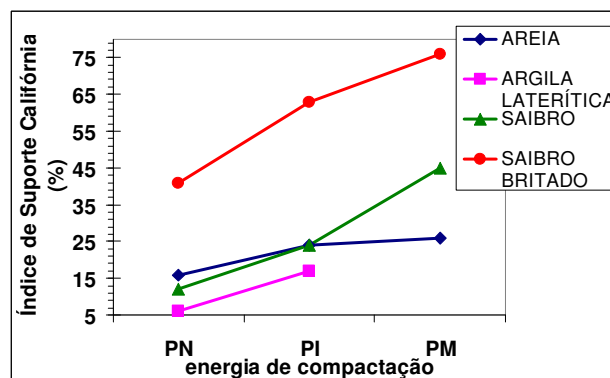


Figura 10. Valores médios do Índice de Suporte Califórnia (ISC)

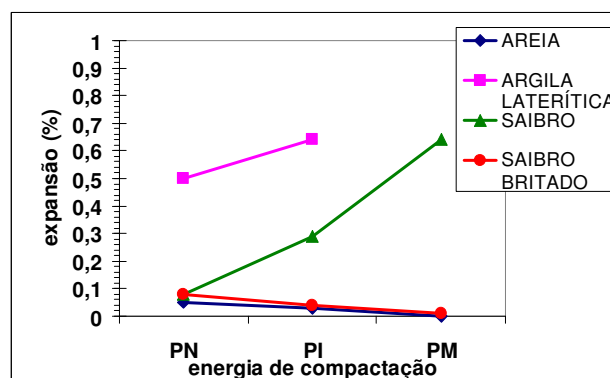


Figura 11. Valores médios de expansão

4 CONCLUSÕES

O estudo apresentado traz dados tabulados e estatisticamente analisados de propriedades de compactação de materiais de empréstimo empregados em obras de terra na Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul.

Os materiais foram classificados como areias, argilas lateríticas, saibros e saibros britados, em função das características geológicas e pedogenéticas.

Os saibros britados têm se apresentado como material superior em capacidade suporte, mas destaca-se que todos os materiais estudados têm seu emprego justificado em diferentes funções em obras de terra, em vista de suas particulares propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas, e do diferente custo de aquisição e transporte.

O banco de dados e as análises que este permite estão sendo continuamente acrescidos de resultados, servindo de uma importante e requerida referência para os projetos de terraplanagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos alunos dos cursos de Engenharia Civil da FURG participantes do projeto de extensão Laboratório de Geotecnia e Concreto - EE/FURG - ações extensionistas em tecnologia na Engenharia Civil pelo auxílio na realização dos ensaios que compõe o banco de dados apresentado.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 7182/1986 - Solo - Ensaio de compactação*. 10p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) *NBR 9895/1995 - Solo - Índice de suporte califórnia - Método de ensaio*. 14p.
- Bastos, C.A.B. (2002) *Caracterização geotécnica de solos da Planície Costeira Sul do RS visando o mapeamento geotécnico*. Relatório de pesquisa ARD/FAPERGS.
- Bastos, C.A.B. (2004) Estudos recentes conduzidos na FURG sobre solos alternativos para pavimentação econômica e obras de terra na Planície Costeira Sul. *Teoria e Prática na Engenharia Civil (Online)*. v.4, p. 31 - 42.
- Bastos, C.A.B., Miranda, T.C., Schuler, A.R., Schmitt, L.A., Vasconcelos, S.M. (2007) Mapeamento geotécnico da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul. 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. *Anais...* Uberlândia/MG: ABGE. p. 538-552.