

ESTUDO TEÓRICO EXPERIMENTAL: “INFLUÊNCIA DO TIPO DE CIMENTO PORTLAND NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLO LATERÍTICO DO NOROESTE DO PARANÁ”

Juliana Azoia Lukiantchuki, Antonio Belincanta, Maria Tereza de Nóbrega.
Universidade Estadual de Maringá CTC/DEC/UEM
jubisglubis@hotmail.com; abelincanta@uem.br Fone: (044)-227-61-33

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos através da adição em solos superficiais evoluídos do Noroeste do Paraná de três tipos característicos de cimento portland, disponíveis no mercado. A resistência à compressão simples (RCS) de latossolos aditivados com 3, 5, 7 e 9% de cimento, estimada através de corpos de prova cilíndricos, compactados no teor de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo da energia dinâmica normal, tem se apresentada crescente com o teor de cimento e também com o tempo de cura em câmara úmida, não se observando diferenças sensíveis com o tipo de cimento.

Palavras-chave: Solo-cimento, Solo Laterítico, Solo do Noroeste do Paraná

1. INTRODUÇÃO

Na construção de obras, entre outras: rodovias, ferrovias, aeroportos, barragens e aterros, há o envolvimento dos solos ora na condição de base de sustentação, isto é, como fundação, ora como material de construção.

A utilização de solo como material de construção pode se dar tanto na forma em que ele é encontrado na natureza, isto é, em sua condição natural, como após a correção de algumas de suas características. Existem diversas formas de correção de um solo, podendo serem agrupados, em termos gerais, em:

- 1 – Com adição de fração ou frações de outro ou de outros solos, corrigindo com isto a textura (granulometria) original do solo. Esta correção pode, em muitos casos e em conformidade com objetivos a que se propõe, ser feita com pedra britada, areia ou mesmo com bentonita.
- 2 – Com adição prévia de produtos químicos que, após o tempo de cura necessário, promove a alteração na textura original do solo; e
- 3 – Adição de produto químico no instante da utilização do solo, conduzindo à mudança de comportamento desejada.

O uso de solo natural só é possível em locais (regiões) onde o mesmo já se presta, em termos de características, às propriedades pretendidas na sua utilização.

Quando o solo na condição natural não tem as características necessárias ao seu uso, não sendo técnica e economicamente viável sua correção através da adição de outros solos, passa-se a alternativa do uso de aditivos químicos, como por exemplo, os de uso tradicional: cimento portland e/ou cal.

Os produtos químicos adicionados ao solo para melhoria de suas propriedades, como por exemplo o uso do cimento, agem com diferentes mecanismos de estabilização, os quais além de serem complexos, também são associados diretamente à natureza química tanto do aditivo quanto do solo em si.

Um aditivo químico ideal, segundo Brazetti (1998), deve ser de aplicação fácil e hidrófobo após a sua cura: deve possuir maior afinidade às superfícies dos sólidos componentes do solo do que à água; deve ser resistente à oxidação e ao ataque de

microorganismos; deve desenvolver ligações mais estáveis pelo tempo de interesse e, por fim, também deve ser economicamente viável. Portanto estas características ideais podem ser resumidas em:

- a) ser de fácil aplicação, podendo ser adicionado ao solo quando da compactação, isto é, na fase de espalhamento e homogeneização.
- b) processar ligação estável entre partículas ou grãos, ao invés de funcionar simplesmente como material inerte de preenchimento; e
- c) ser barato ou ser capaz de ser usado em pequena quantidade, o suficiente para que seja economicamente viável no que concerne à relação custo-benefício.

Os solos do Noroeste do Paraná são basicamente provenientes de arenito (Arenito Caiuá). Em função do clima úmido e quente, a espessura desses solos é avantajada, chegando a valores da ordem de até 30 metros, podendo em casos específicos ser ainda de maior espessura, segundo Belincanta (2000) e Gaspareto et al.(1994 a,b,c). Esses solos se apresentam com duas camadas bem distintas: uma superficial, bem evoluída, laterizada, com espessura de aproximadamente de até 10 metros e abaixo desta camada superficial, sobreposta à rocha, o solo de alteração.

Nesta região do arenito, os solos superficiais apresentam textura arenosa e areno-argilosa e estão englobados nas classes de latossolo vermelho-escuro (topo e alta vertente) e podzólico vermelho-escuro (média e baixa vertente).

O solo proveniente da camada superficial evoluída tem sido intensamente utilizado nas construções de aterro, pavimentos, camadas selantes, etc. Apesar da laterização conferir a este tipo de solo algumas propriedades relevantes ao seu emprego, como material de construção, há características finais de comportamento que necessitam de mudança o que é possível através do uso de aditivos como por exemplo o cimento.

As melhorias introduzidas pelo uso do cimento, costumam ser observadas e analisadas através de ensaios prévios de laboratório. Os ensaios de laboratório se prestam muito ao levantamento básico de comportamento de materiais, pois os mesmos são executados com condições de contorno muito bem definidas e estabelecidas, ainda mais quando associados ao conhecimento das reais condições de campo, os estados natural e compactado.

2. OBJETIVO

Estes solos superficiais evoluídos se constituíram, em diversas oportunidades, em objeto de estudo, no que se refere ao seu emprego em camadas nobres de pavimento rodoviário. Estes estudos, tem sido desenvolvidos com o emprego de ensaios de uso corrente na área específica de pavimentação, resultando na obtenção de parâmetros índices de difícil transposição à avaliação de comportamento do solo em outras áreas da construção. Portanto faz-se necessário a obtenção de parâmetros com a utilização de ensaios convencionais de laboratório, voltados à caracterização dos solos típicos da região, melhorados com cimento, no que concerne principalmente à resistência ao cisalhamento.

Estas características de comportamento devem estar balizadas na sua permanência com o tempo, isto é, devem estar balizadas no que se denomina de “durabilidade”, onde a contração e expansibilidade são de grande influência, todavia isto não faz parte do escopo deste trabalho.

Nos trabalhos realizados por Yoshida et al (2001) constatou-se a necessidade de um estudo teórico experimental da influência do tipo de cimento existente no mercado brasileiro, na estabilização de solo laterítico típico do Noroeste do Paraná. Portanto esta avaliação da influência do tipo de cimento constitui-se no objetivo principal deste trabalho.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1. Introdução

Para este estudo foram selecionados locais de retirada de amostra de solos típicos do Noroeste do Paraná, sendo estes solos provenientes basicamente da decomposição do Arenito Caiuá. Estes solos típicos se apresentam com textura variando de arenosa e areno-argilosa, pertencem a classe de latossolo vermelho escuro com ocorrência em alta vertente

A diferença básica entre os dois solos estudados está relacionada à granulometria, pois os latossolos provenientes do arenito caiuá, se apresentam com a textura variando de franco-arenosa a franco-argilosa.

As amostras estudadas, constituídas de solo do tipo latossolo vermelho escuro, são provenientes dos seguintes locais:

Acesso para Cidade Gaúcha, próximo ao trevo da polícia rodoviária, com presença de latossolo vermelho escuro, arenoso.

Estrada de acesso a Paraíso do Norte, em frente ao Auto Posto Ferrari, com presença também de latossolo vermelho escuro, porém argiloso.

Nos experimentos foram utilizados três cimentos portland típicos, de uso generalizado na construção civil, a saber: CP V ARI (cimento portland de alta resistência inicial), CII Z-32 (cimento portland composto, pozolânico) e CII F-32 (cimento portland composto filer calcáreo), nos teores de 3%, 5%, 7% e 9%. Os ensaios de compactação e a compactação de corpos de provas para a compressão simples foram feitos na energias normal. O desempenho do solo-cimento em termos de resistência à compressão simples, com referência aos quatro teores de cimento, referentes aos três tipos de cimento portland existentes no mercado, foi avaliado através de ensaios de compressão simples executados, com tempo de cura de 7, 28, 56 e 112 dias.

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão simples foram moldados através de compactação dinâmica, nas dimensões de 50mm de diâmetro e 100mm de altura, em conformidade com os resultados de ensaios de compactação, isto é, em função de ($\gamma_{m\acute{a}x}$, $w_{\acute{o}t}$).

Os resultados neste trabalho foram analisados tomando como base a simples comparação de resultados, observando-se o tempo de cura dos corpos de prova (tempo de cura de 7, 28, 56 e 112 dias).

3.2- Trabalhos de campo

No campo foram coletadas amostras do tipo deformada em quantidade suficiente para execução de ensaios e análise de laboratório, previstos na realização deste trabalho.

Estas amostras, quando da sua retirada no campo, foram previamente homogeneizadas, através de uma peneira de malha de 4,8mm. Após isso, as mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados e por fim transportadas para o laboratório.

3.3- Ensaios de Laboratório

a)-Preparação das amostras de solos

A preparação das amostras de solos foi realizada em conformidade com a metodologia proposta pela norma NBR 6457/86 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), no

que se refere aos ensaios de compactação, caracterização (massa específica dos grãos, análise granulométrica e limites de consistência). Portanto na preparação das amostras para os ensaios, utilizou-se o processo de secagem prévia até a umidade higroscópica, que consiste em: secagem ao ar das amostras de solo, até próximo da umidade higroscópica, destorroamento e por fim, divisão da amostra de solo em quantidades necessárias à realização de cada ensaio de laboratório.

b)-Teor de umidade

A determinação do teor de umidade, necessárias nos ensaios foi realizada pelo método da estufa, em conformidade com a metodologia proposta pela norma NBR 6457/86, utilizando-se portanto estufa com temperatura controlada de 105 a 110°C, deixando-se as amostras em secagem por um período de aproximadamente 24 horas.

c)-Massa específica dos grãos (densidade dos sólidos)

A determinação da massa específica dos grãos foi feita com a fração de solo que passa na peneira de 4,8mm (no caso em questão todo o solo passa na peneira de 2,0 mm), utilizando-se do método proposto pela norma brasileira NBR 6508/84, isto é, com a utilização do método do picnômetro.

d)-Granulometria com sedimentação (sedimentação e peneiramento fino)

A determinação da curva granulométrica, através de sedimentação e peneiramento, foi realizada em conformidade com o método proposto pela norma NBR 7181/84. Como todo o solo passa na peneira de 2,0mm, a análise granulométrica foi feita através de sedimentação e peneiramento fino.

e)- Limites de Consistência

Para identificação de solos finos para a engenharia, muitas vezes se faz necessário além da granulometria, uma determinação dos limites de consistência (limite de liquidez e limite de plasticidade).

A determinação do limite de liquidez (LL) foi realizada conforme a NBR 6459/84 e o limite de plasticidade (LP) realizado de acordo com a NBR 7180/84.

f)-Ensaio de compactação

A determinação da curva de compactação dos solos foi realizada em conformidade com a metodologia proposta pela norma NBR 7182/86, compactando-se o solo com a energia normal de compactação (6kgfcm/cm³). Como os solos das amostras preparadas passam na peneira 4,8mm (o solo em questão passa na peneira 2mm), adotou-se o cilindro de compactação pequeno (cilindro de Proctor). Os ensaios foram realizados com reuso de amostra.

g)-Moldagem e cura dos corpos-de-prova cilíndricos de solo-cimento

Os corpos de prova de 5cm de diâmetro e 10cm de altura, foram compactados com equipamento específico. Na compactação dos corpos de prova cilíndricos de 5cm de diâmetro

e 10cm de altura (corpos de prova mini), os mesmos foram compactados em três camadas iguais, procurando-se obter a umidade ótima (w_{ot}) e a máxima massa específica aparente seca ($\gamma_{d\text{ máx}}$), da energia normal de compactação.

Os corpos de prova cilíndricos, assim que moldados foram colocados na câmara úmida, à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar não inferior a 95%. Para fins exclusivos de dosagem de solo-cimento, o período de cura deve ser obrigatoriamente de sete dias segundo a norma NBR 12024/92, mas para efeito de pesquisa foram utilizados também os tempos de cura de 14, 28, 56 e 112 dias.

h)-Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos (solo-cimento)

Os ensaios de compressão simples foram realizados em conformidade com o que prescreve a norma brasileira NBR 12025/92. Logo após a sua moldagem e cura especificada, cada corpo de prova foi imerso em um tanque com água à temperatura ambiente, por 4 horas. Decorrido o período de 4 horas de imersão, cada corpo de prova foi retirado do tanque de imersão e secado superficialmente com auxílio de um tecido absorvente. O ensaio de compressão simples em si começa com a colocação de cada corpo de prova sobre o prato da prensa, de tal forma que haja o alinhamento do eixo vertical do corpo de prova com o eixo vertical do prato da prensa. Antes de iniciar o carregamento de cada corpo de prova, o relógio comparador é zerado. O carregamento é interrompido quando há um recuo do ponteiro, adotando-se como padrão o recuo correspondente a 10% do valor da carga máxima alcançada ou quando da total ruptura do corpo de prova.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos neste trabalho são apresentados a seguir na forma de tabelas e figuras.

A tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização para os respectivos solos em estudo (Peso específico dos sólidos, Análise granulométrica e Limites de consistência).

A tabela 2 apresenta a classificação do solo, tomando como base as do tipo: pedológica, granulométrica e HRB (Highway Research Board).

Tabela 1- Amostras de solo, resultado dos ensaios de caracterização

Cidade de Procedência	Prof.(m)	Rocha de Origem	Peso esp. dos sólidos $\gamma_s(\text{gf/cm}^3)$	Granulometria			Limites de Consistência			
				Argila %	Silte %	Areia %	LL	LP	IP	Atividade Coloidal
Cidade Gaúcha	1,0 a 2,0	Arenito Caiuá	2,69	22	6	72	26	17	9	0,41
Paraíso do Norte	1,0	Arenito Caiuá	2,85	48	10	42	44	28	16	0,33

Tabela 2- Classificação das amostras de solo utilizadas

Cidade de Procedência	Prof. (m)	Classificação			Rocha de origem
		Pedológica	Granulométrica	HRB	
Cidade Gaúcha	1,0 a 2,0	Latossolo vermelho distrófico (latossolo vermelho escuro, arenoso)	Areia fina a média argilosa, pouco siltosa	A2.4 (areia argilosa)	Arenito Caiuá
Paraíso do Norte	1,0	Latossolo vermelho distrófico (latossolo vermelho escuro, argiloso)	Argila muito arenosa siltosa	A7 (solo argiloso)	Arenito Caiuá/ Basalto

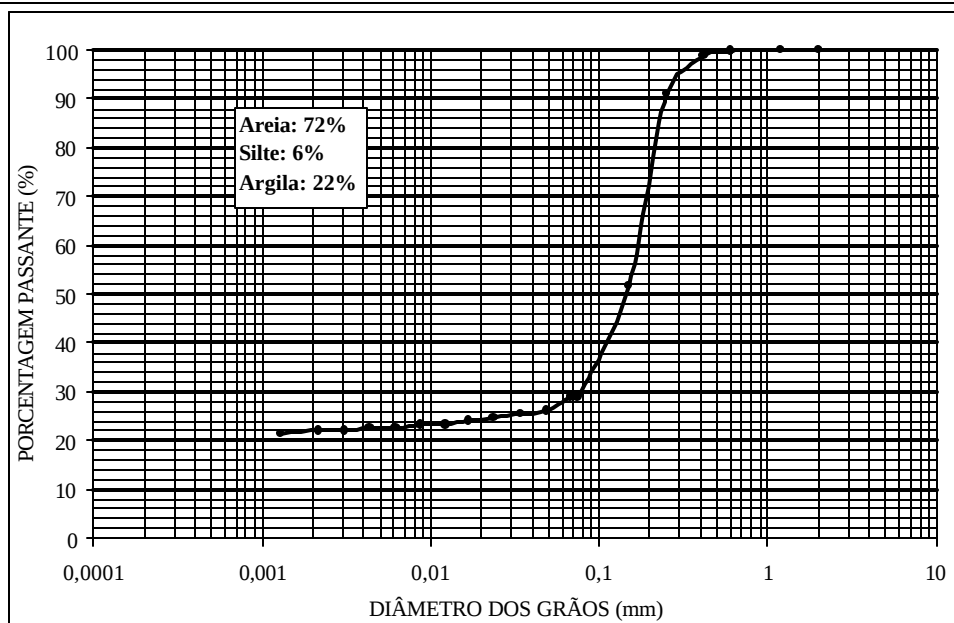


Figura 1- Curva Granulométrica (Cidade Gaúcha)

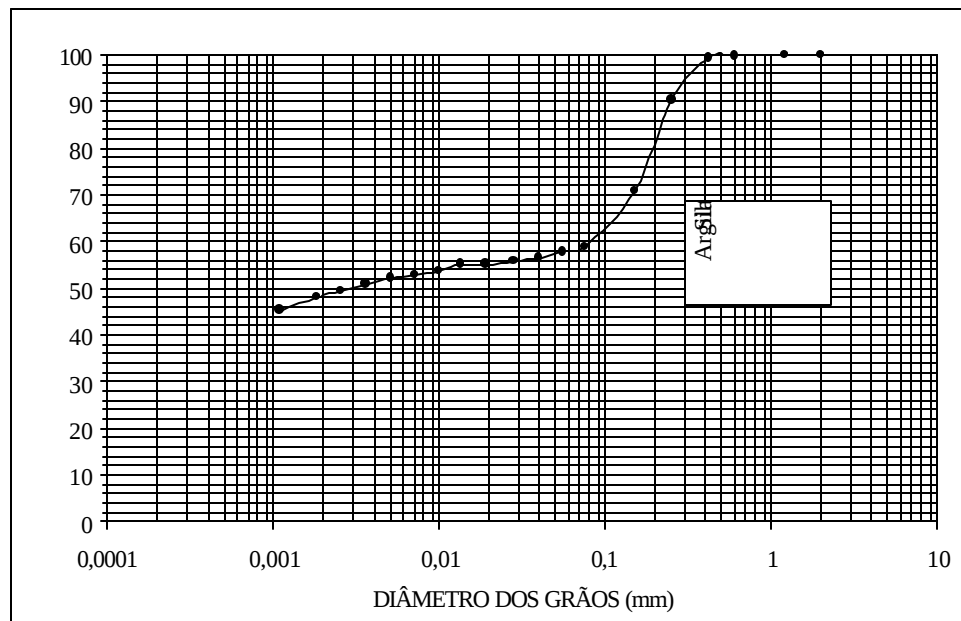
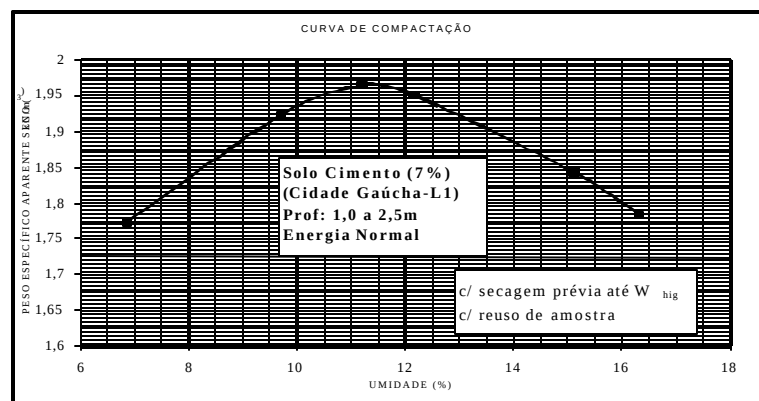


Figura 2- Curva Granulométrica (Paraíso do Norte)

Tabela 3- Resumo dos Ensaio de Compactação

Local de procedência	Energia Normal		
	Teor de cimento %	Peso específico aparente seco $\gamma_{dm\acute{a}x}$ (tf/m ³)	Umidade ótima %
Cidade Gaúcha	0	1,98	10,9
	7	1,96	11,3
Paraíso do Norte	0	1,74	19,0
	7	1,71	19,7



RESUMO			
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	Energia Normal Solo- Cimento (7%)	$\gamma_{dm\acute{a}x} = 1,96$ (g/cm ³)	EXPANSÃO : (%)
		$W_{ót} = 11,3$ (%)	CBR FINAL : (%)

Figura 3- Curva de Compactação típica (Cidade Gaúcha, 7%, Energia Normal)

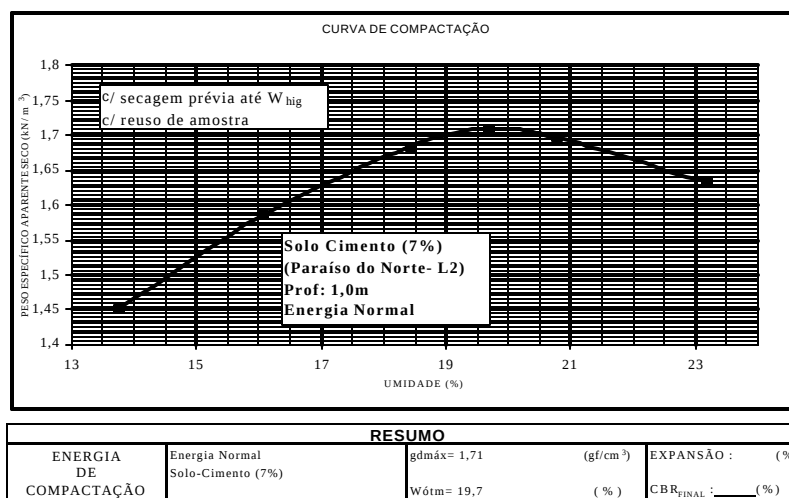


Figura 4- Curva de Compactação típica (Paraíso do Norte,7%, Energia Normal)

Tabela 4- Resistência à Compressão Simples (RCS para o teor de 3% de cimento)em função do tipo de cimento, procedência da amostra e tempo de cura.

Tipo de cimento	Teor de 3%, Energia Normal.							
	Solo proveniente de Cidade Gaúcha				Solo proveniente de Paraíso do Norte			
	7	28	56	112	7	28	56	112
CP-II-F-32	35,8	51,1	60,2	59,7	9,1	11,6	11,7	11,9
CPII-Z-32	34,2	49,8	51,9	52,6	6,1	8,2	9,0	8,2
ARI	40,4	47,5	48,1	55,4	8,3	9,5	10,7	11,4

Tabela 5- Resistência à Compressão Simples (RCS para o teor de 5% de cimento)em função do tipo de cimento, procedência da amostra e tempo de cura.

Tipo de cimento	Teor de 5%, Energia Normal.							
	Solo proveniente de Cidade Gaúcha				Solo proveniente de Paraíso do Norte			
	7	28	56	112	7	28	56	112
CP-II-F-32	38,3	57,7	73,2	75,4	28,3	33,7	45,0	40,8
CPII-Z-32	42,7	67,0	66,7	77,2	22,1	24,3	31,5	28,2
ARI	46,9	63,2	65,8	75,0	28,8	29,2	37,2	38,3

Tabela 6- Resistência à Compressão Simples (RCS para o teor de 7% de cimento)em função do tipo de cimento, procedência da amostra e tempo de cura.

Tipo de cimento	Teor de 7%, Energia Normal.							
	Solo proveniente de Cidade Gaúcha				Solo proveniente de Paraíso do Norte			
	7,0	28,0	56,0	112,0	7,0	28,0	56,0	112,0
CP-II-F-32	48,1	86,2	101,0	108,0	42,8	57,4	56,6	57,2
CPII-Z-32	51,9	84,0	82,0	92,3	41,5	49,6	61,2	53,7
ARI	56,6	82,2	83,4	109,3	43,5	51,6	59,8	62,7

Tabela 7- Resistência à Compressão Simples (RCS para o teor de 9% de cimento) em função do tipo de cimento, procedência da amostra e tempo de cura.

Tipo de cimento	Teor de 9%, Energia Normal.							
	Solo proveniente de Cidade Gaúcha				Solo proveniente de Paraíso do Norte			
	7	28	56	112	7	28	56	112
CP-II-F-32	66,3	100,6	128,4	125	54,4	56,7	70,8	78,6
CPII-Z-32	64,1	101,2	108,3	112,5	45,8	58	67,2	79,2
ARI	63,8	97,1	116,8	123,7	48,2	62,5	69,4	88,4

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO DOS RESULTADOS

Com base nos resultados apresentados, verifica-se que a resistência à compressão simples, quando da compactação de corpos de prova cilíndricos de 5cm de diâmetro e 10cm de altura, no teor de umidade ótima e peso específico aparente seco máximo da energia dinâmica normal, tem-se apresentado crescente com o teor de cimento utilizado na mistura. Tendência crescente de resistência à compressão simples também tem-se verificado no que refere ao tempo de cura em câmara úmida, sendo esta tendência mais pronunciada nos teores de cimento de 5, 7 e 9% do que no teor de 3%.

O latossolo arenoso (Cidade Gaúcha) tem apresentado valores de resistência à compressão simples superiores aos do latossolo argiloso (Paraíso do Norte).

Em termos práticos de engenharia, verificou-se que para o latossolo arenoso, quando confeccionados corpos de prova na energia normal, aos 7 dias de cura, o cimento CPV ARI-RS apresenta valores de resistência à compressão simples superiores aos demais cimentos, excetuando-se para o caso do teor de 9% de cimento e, para 112 dias de cura, o cimento CPII F 32 e CPV ARI-RS apresentam-se aproximadamente com os mesmos valores de resistência à compressão simples. O latossolo argiloso, apresenta-se com valores de resistência à compressão simples menores quando da utilização do cimento CPII Z 32, aos 7 dias de cura, mas para 112 dias de cura o cimento CPV ARI-RS tem se apresentado com valores de resistência superiores a dos outros cimentos, no que se refere aos teores de 7 e 9%.

Os resultados obtidos neste trabalho, em termos práticos de engenharia, para os latossolos superficiais do Noroeste do Paraná, apontam no sentido de que a resistência à compressão simples é pouco sensível ao tipo de cimento utilizado.

6. BIBLIOGRAFIA

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. NBR 6508. Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) Solo – Determinação do limite de liquidez. NBR 6459. Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) Solo – Determinação do limite de plasticidade. NBR 7180. Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984) Solo – Análise Granulométrica. NBR 7181, Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. NBR 6457, Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). Solo – Ensaio de compactação. NBR 7182. Rio de Janeiro, ABNT

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990) Solo-cimento – Ensaio de Compactação. NBR 12023. Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990) Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. NBR 12025. Rio de Janeiro, ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990) Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos MB – 3360, ABNT.
- Belincanta ,A; Ferraz, R.L.; Gutierrez, N.H.M .(2000) Algumas características dos solos constituintes do subsolo da cidade de Maringá, de interesse à geotecnia em geral. In: Enteca 2000, Maringá, UEM/DEC, p.182 a 190.
- Belincanta ,A.(2001) Fundamentos básicos de ensaios de permeabilidade dos solos. v.97. Eduem, Maringá, Pr.
- Brazetti, R. (1998) Considerações sobre a influência de distintos aditivos orgânicos nas características micromorfológicas, mineralógicas, físicas, mecânicas e hidráulicas de um solo laterítico. São Paulo, 275 p. Tese de doutorado, EPUSP.
- Ferraz, R.L.; Belincanta, A.; Gutierrez, N. H. M. (2000) Estudo comparativo de alguns métodos de dosagem de misturas solo-cimento (2000) in: Enteca 2000, Maringá, UEM/DEC, p 173 a 181.
- Gaspareto, N.V.L.; Nakashima, P.; Nóbrega, M.T. (coordenadores) Mapeamento Geotécnico de Cidade Gaúcha – Carta de Zonas de Riscos. Maringá, UEM/DGE/SUCEAM, 1994 a.
- Gaspareto, N.V.L.; Nakashima, P.; Nóbrega, M.T.(coordenadores) Mapeamento Geotécnico de Cianorte – Mapeamento Geotécnico de Cianorte - Carta de Zonas de Riscos. Maringá, UEM/DGE/SUCEAM, 1994 b.
- Gaspareto, N.V.L.; Nakashima, P.; Nóbrega, M.T.(coordenadores) Mapeamento Geotécnico de Umuarama – Carta de Zonas de Riscos. Maringá, UEM/DGE/SUCEAM, 1994 c.
- Yoshida, E.Y.,Belincanta A.(2001) Estudo Experimental do uso de cimento em solos lateríticos típicos do Noroeste do Paraná.