

Análise da utilização de diferentes misturas de solo-cimento com vistas à produção de tijolos maciçosJosé Gabriel Vieira Neto¹

¹UEM – Universidade Estadual de Maringá - Curso de Engenharia Agrícola - Rodovia PR 482, km 45, Cidade Gaúcha - PR. Campus do Arenito
zeh.gvn@hotmail.com

Resumo: Para que uma mistura de solo-cimento seja classificada como boa para fabricação de materiais de construções se faz necessário estudo prévio das principais características do solo, que deve ser verificado quanto à sua aptidão para possível aplicação. Neste sentido, apresentam-se como objetivos deste trabalho analisar diferentes teores de cimento a serem adicionados ao solo do Campus do Arenito – Universidade Estadual de Maringá, município de Cidade Gaúcha, com vistas à produção de tijolos maciços de solo-cimento. Realizou-se ensaio de compactação do solo, ensaio de compactação da mistura de solo com o cimento e água, teste de compressão em corpos de prova e em tijolos maciços, e, o teste de absorção de água. Os valores obtidos de umidade ótima do solo e da mistura solo-cimento, juntamente com a classificação granulométrica e os limites de consistência, permitiram classificar o solo, selecionar a quantidade de água e de cimento a ser adicionado no solo seco, sendo que os valores obtidos foram de 7% de cimento e 9% de água. Os corpos de prova cilíndricos apresentaram resistência à compressão simples com valor médio de 2,91 MPa. Os tijolos submetidos ao teste de compressão apresentaram valor médio de resistência de 1,02 MPa, valor este inferior ao mínimo recomendado pela NBR 8492 (1984). O ensaio de absorção de água teve valor médio de 15,39%, valor este abaixo do máximo exigido pela NBR 8491 (1984). Os parâmetros estudados obedeceram aos requisitos normativos, e, se equipararam a valores obtidos por outros autores, exceto o teste de resistência dos tijolos.

Palavras-chave: materiais de construção; umidade ótima; compressão.

Abstract: To a mixture of soil cement is classified as good for manufacturing building materials is required prior study of the main characteristics of the soil, which must be checked for suitability for possible application. In this sense, we present how this work aims to analyze different levels of cement to be added to the soil Campus do Arenito - Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha municipality, with a view to the production of solid bricks of soil-cement. Assay was performed compaction, the compaction test soil mix with cement and water compression test on specimens and solid bricks, and the test of water absorption. The values of optimum moisture content of soil and soil-cement mixture, together with the classification particle size and consistency limits, allowed to classify the ground select the amount of water and cement to be added in dry soil, and the values were obtained from 7% to 9% cement and water. The cylindrical specimens had unconfined compressive strength with an average value of 2.91 MPa. The bricks are tested for compressive strength showed average value of 1.02 MPa, a value less than the minimum recommended by the NBR 8492 (1984). The test of water uptake had a mean value of 15.39% which is below the maximum required by NBR 8491 (1984). The parameters studied met the regulatory requirements, and became similar to values obtained by other authors, except the endurance test of bricks.

Key words: construction materials; optimum moisture, compression.

Introdução

Em busca de melhor qualidade de vida ao ser humano os materiais de construções estão sempre presentes em pesquisas acadêmicas, principalmente em se tratando de construções para atender comunidades carentes ou distantes de centros urbanos, como é o caso de pequenas propriedades rurais. Neste aspecto, a técnica de mistura solo-cimento surgiu para substituir os materiais que ocasionalmente são mais difíceis de manusear ou inviáveis de acordo com as necessidades fitossanitárias (por exemplo, construções de barro e taipa.

A mistura do cimento com o solo é uma técnica utilizada há décadas, e segundo Abiko (1983) citado por Grande (2003), foi empregada pela primeira vez em 1915 nos Estados Unidos pelo Engenheiro Bert Reno, que pavimentou uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland, porém, só em 1935, a Portland Cement Association (PCA) iniciou pesquisas e estudos sobre esta tecnologia. Penha (2007) destacou que no Brasil difundiu-se a técnica após 1978 quando o CEPED (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento) e o IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo) comprovaram através de seus estudos que além do bom desempenho térmico e acústico, os tijolos de solo-cimento apresentam reduções nos custos na ordem de 20 a 40% em relação aos tijolos de barro ou cerâmica.

Rolim et al. (1999) destacam que a possibilidade de utilização de solo do próprio local constitui numa das grandes vantagens do solo-cimento, por questões econômicas, considerando que na mistura o solo é o componente que se encontra em maior proporção, devendo ser tal que permita o uso da menor quantidade de cimento possível.

Conforme Penha (2007), o investimento em tijolos de solo-cimento reduz os custos em relação a outros tijolos, portanto a fabricação deste material surge como alternativa para construção, principalmente, no meio rural e em pequenas comunidades.

Neste contexto, os objetivos gerais deste trabalho consistiram em analisar diferentes teores de cimento a ser aplicados ao solo do Campus do Arenito – Universidade Estadual de Maringá, município de Cidade Gaúcha, com intuito de produzir tijolos maciços de solo-cimento, que garantem as características mínimas recomendadas pelas normas pertinentes. Os objetivos específicos consistiram em determinar a umidade ótima e a massa específica aparente do solo, assim como classificar o solo para determinar o teor de cimento recomendado, determinar a umidade ótima da mistura solo-cimento a fim de se fixar o teor de água a ser adotado, moldar e determinar a resistência à compressão simples de corpos de prova cilíndricos, e por fim, moldar e determinar a resistência à compressão simples e a absorção de água de tijolos maciços com dimensões de 12,5 x 25,0 x 5,0 cm.

Material e métodos

Neste estudo utilizou-se métodos e materiais que seguem as principais normas pertinentes, seguindo a seguinte metodologia:

- Obter através do ensaio de compactação do solo do Campus do Arenito – Universidade Estadual de Maringá a umidade ótima e a massa específica do mesmo;
- Selecionar a quantidade de cimento a ser adicionada no solo, conforme as características do solo;
- Realizar o teste de compactação da mistura de solo-cimento com o teor selecionado, obter a umidade ótima e a massa específica do mesmo;
- Moldar e realizar teste de compressão simples em corpos de prova;
- Moldar tijolos maciços e obter a resistência à compressão e absorção de água.

O ensaio de compactação do solo, da mistura solo-cimento e o teste de compressão simples, foram executados no Laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá. Os demais ensaios foram realizados nos laboratórios de Materiais de construção e de solos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Maringá.

Dentre as normas pertinentes e as características que devem ser analisadas para classificar o solo e a mistura quanto à aptidão ao uso, destacam-se:

- NBR 7181 (1984): Análise granulométrica do solo;
 - NBR 6459 (1984): Determinação do limite de liquidez;
 - NBR 7182 (1986): Compactação do solo;
 - NBR 12023 (1992): Compactação do solo-cimento;
 - NBR 12024 (1992): Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos;
 - NBR 12025 (1990): Compressão simples em corpos de prova cilíndricos;
 - NBR 12253 (1992): Dosagem de cimento;
 - NBR 8492 (1984): Determinação da resistência à compressão e teste de absorção em tijolos maciços de solo-cimento.
- NBR 10832 (1989): Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual.

Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta os dados iniciais do ensaio de compactação na energia normal e o peso específico do solo úmido, com os requisitos da norma NBR 7182 (1986) de compactação do solo com o método de reaproveitamento do material.

Tabela 1. Dados do ensaio de compactação do solo na energia normal e peso específico do solo.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO					
Cilindro nº	7	7	7	7	7
Água acrescentada (ml)	135	60	60	60	60
Peso do cilindro (gf)	2472	2472	2472	2472	2472
Volume do cilindro (cm ³)	998,2	998,2	998,2	998,2	998,2
Peso do cilindro + solo úmido (gf)	4220	4426	4593	4652	4616
Peso do solo úmido (gf)	1748	1954	2121	2180	2144
Número de golpes por camada	26	26	26	26	26
Peso específico do solo úmido (gf/cm ³)	1,751	1,958	2,125	2,184	2,148

O peso específico úmido determinou-se dividindo o peso do solo úmido pelo volume do cilindro. Já o peso específico aparente seco, determinou-se seguindo a equação (1):

$$\gamma_s = \frac{Ph}{V * (100 + h)} * 100 \quad (1)$$

Em que:

γ_s - peso específico aparente seco, em gf/cm³;

Ph – peso úmido do solo compactado, em gf;

V – volume útil do molde cilíndrico, em cm³;

h – umidade do solo compactado determinado em estufa, em %.

A determinação da umidade por ponto da curva de compactação é apresentada na Tabela 2, que mostra os dados das amostras retiradas após a compactação no cilindro.

Tabela 2. Determinação da umidade e do peso específico aparente do solo seco por ponto na energia de compactação normal.

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE					
Cápsula nº	43	46	6	86	82
Amostra úmida + cápsula (g)	96,50	69,24	70,78	67,33	86,85
Amostra seca + cápsula (g)	93,09	66,28	66,56	62,54	79,32
Massa de água (g)	3,41	2,96	4,22	4,79	7,53
Massa da cápsula (g)	17,61	18,21	14,88	12,74	13,13
Massa de sólidos (g)	75,48	48,07	51,68	49,80	66,19
Umidade (%)	4,52	6,16	8,17	9,62	11,38
Peso específico do solo seco (gf/cm ³)	1,675	1,844	1,964	1,992	1,928

Com os valores obtidos de peso específico e umidade, traçou-se a curva de compactação do solo, e do ponto de inflexão, obteve-se a umidade ótima de 9,30% e o respectivo peso específico do solo neste ponto de 1,99 gf/cm³, ilustrados na Figura 1.

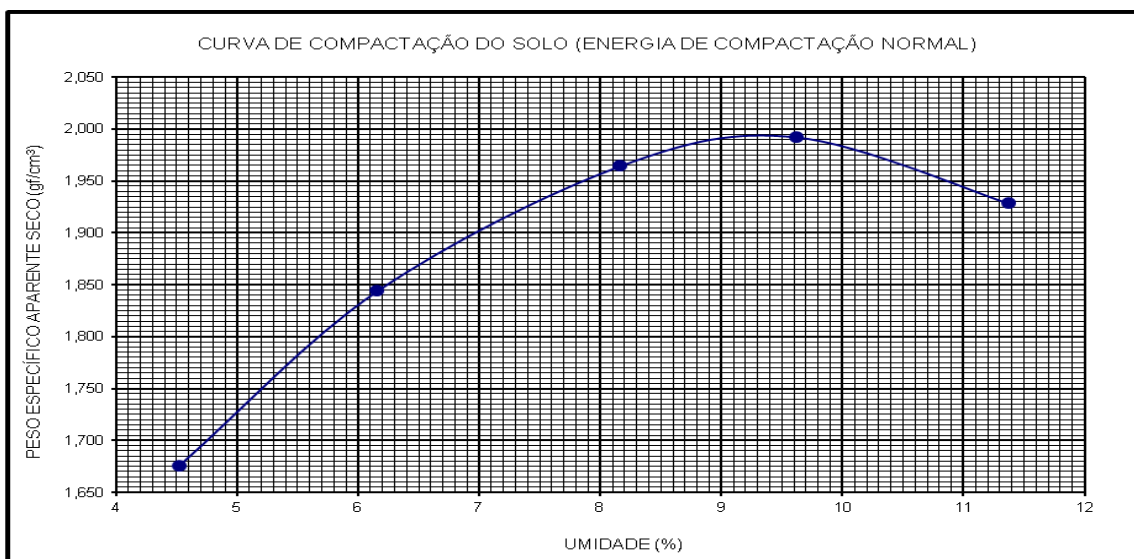


Figura 1. Curva de compactação do solo de Cidade Gaúcha na energia de compactação normal.

Para a energia de compactação intermediária utilizou-se os dados e obteve-se os valores conforme a Tabela 3 e Tabela 4 respectivamente.

Tabela 3. Dados do ensaio de compactação na energia de compactação intermediária e peso específico do solo.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO					
Cilindro nº	7	7	7	7	7
Água acrescentada (ml)	145	198	255	315	368
Peso do cilindro (gf)	2472	2472	2472	2472	2472
Volume do cilindro (cm ³)	998,2	998,2	998,2	998,2	998,2
Peso do cilindro + solo úmido (gf)	4212	4506	4648	4681	4622
Peso do solo úmido (gf)	1740	2034	2176	2209	2150
Número de golpes por camada	26	26	26	26	26
Peso específico do solo úmido (gf/cm ³)	1,743	2,038	2,180	2,213	2,154

Tabela 4. Determinação da umidade e do peso específico aparente do solo seco por ponto na energia de compactação intermediária.

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE					
Cápsula nº	2	17	7	18	113
Amostra úmida + cápsula (g)	131,35	129,48	110,03	126,73	139,77
Amostra seca + cápsula (g)	127,41	123,55	104,03	118,29	127,91
Massa de água (g)	3,94	5,93	6,00	8,44	11,86
Massa da cápsula (g)	27,85	24,20	24,98	29,00	22,78
Massa de sólidos (g)	99,56	99,35	79,05	89,29	105,13
Umidade (%)	3,96	5,97	7,59	9,45	11,28
Peso esp. Aparente do solo seco (gf/cm ³)	1,677	1,923	2,026	2,022	1,936

Com os dados necessários, traçou-se a curva de compactação do solo na energia intermediária, conforme representado na Figura 2, e obteve-se a umidade ótima de 8,40% e o peso específico aparente seco de 2,035 gf/cm³.

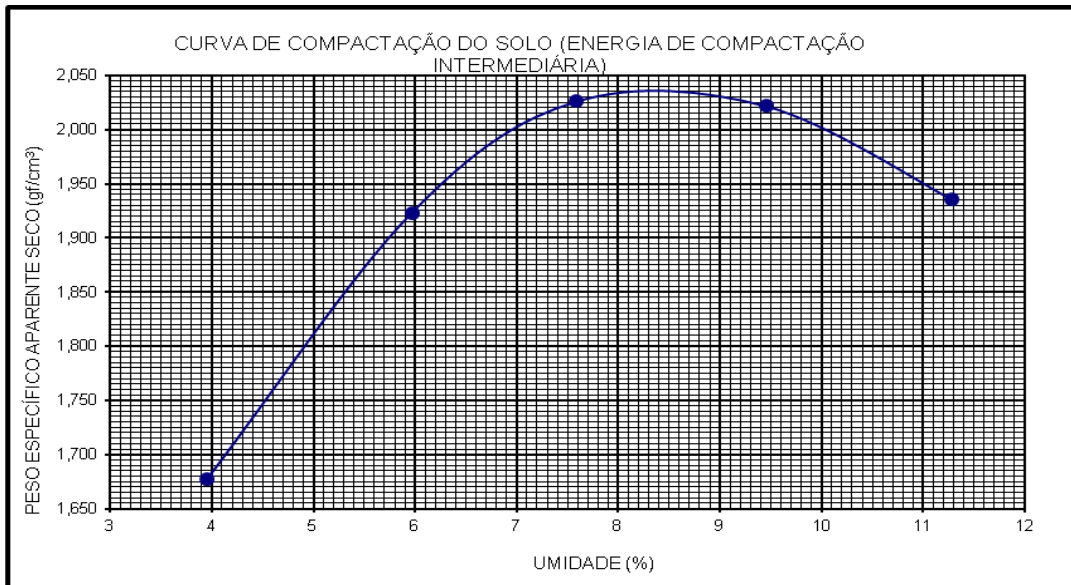


Figura 2. Curva de compactação do solo de Cidade Gaúcha na energia de compactação intermediária.

Compactação do solo-cimento

Através dos valores obtidos na curva de compactação do solo, de umidade ótima e do peso específico, definiu-se o teor de cimento a ser adicionado no solo, seguindo a classificação TRB, e os valores da Norma NBR 12253 (1992).

Utilizou-se no ensaio o teor de cimento de 7% e para fins comparativos o teor de 9% de cimento sobre a massa do solo seco. Esta opção de dois teores de cimento se deu por ocorrer apenas um item de diferenciação, segundo a classificação da *Transportation Research Board*.

Para o cálculo da umidade da amostra utilizou-se, assim como no ensaio de compactação do solo, a equação (2), e para o cálculo do peso específico aparente seco a equação (3):

$$\omega = \frac{(Mbu - Mbs)}{(Mbs - m)} * 100 \quad (2)$$

Em que:

ω – umidade da amostra compactada, em %;

Mbu – massa da cápsula mais a amostra úmida, em g;

Mbs – massa da cápsula mais a amostra seca, em g;

m – massa da cápsula.

$$\gamma_s = \frac{Mh}{(V * (100 + h))} * 100 \quad (3)$$

Em que:

γ_s – peso específico aparente seco, em gf/cm³;

Mh – peso úmido do solo compactado, em gf;

V – volume útil do molde cilíndrico, em cm³;

h – umidade do solo compactado determinado em estufa, em %.

Teor de cimento de 7%

Os dados iniciais do teste de compactação e o peso específico da mistura úmida do teor de cimento de 7% estão representados na Tabela 5.

Tabela 5. Dados do ensaio de compactação e peso específico úmido da mistura solo cimento com teor de cimento de 7%.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO					
Cilindro nº	7	7	7	7	7
Água acrescentada (ml)	175	198	255	315	368
Peso do cilindro (gf)	2472	2472	2472	2472	2472
Volume do cilindro (cm ³)	998,2	998,2	998,2	998,2	998,2
Peso do cilindro + solo úmido (gf)	4423	4598	4676	4600	4522
Peso do solo úmido (gf)	1951	2126	2205	2128	2050
Número de golpes por camada	26	26	26	26	26
Peso específico do solo úmido (gf/cm ³)	1,955	2,130	2,208	2,132	2,054

A umidade e o peso específico aparente da mistura por ponto da curva, e os dados necessários para se obter estes, estão representados na Tabela 6.

Tabela 6. Determinação da umidade e do peso específico aparente da mistura solo-cimento por ponto com teor de 7% de cimento.

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE					
Cápsula nº	42	4	18	7	113
Amostra úmida + cápsula (g)	103,27	110,26	134,70	141,34	141,34
Amostra seca + cápsula (g)	98,69	104,27	125,26	129,15	127,05
Massa de água (g)	4,58	5,99	9,44	12,19	14,29
Massa da cápsula (g)	18,06	25,62	28,99	24,98	22,76
Massa de sólidos (g)	80,63	78,65	96,27	104,17	104,29
Umidade (%)	5,68	7,62	9,81	11,70	13,70
Peso específico aparente do solo seco (gf/cm ³)	1,849	1,979	2,011	1,909	1,806

Com os pontos definidos, traçou-se a curva de compactação, e a partir do ponto de inflexão, determinou-se a umidade ótima no valor de 9,00% e o peso específico de 2,040 gf/cm^3 com o teor de cimento de 7%, representado na Figura 3.

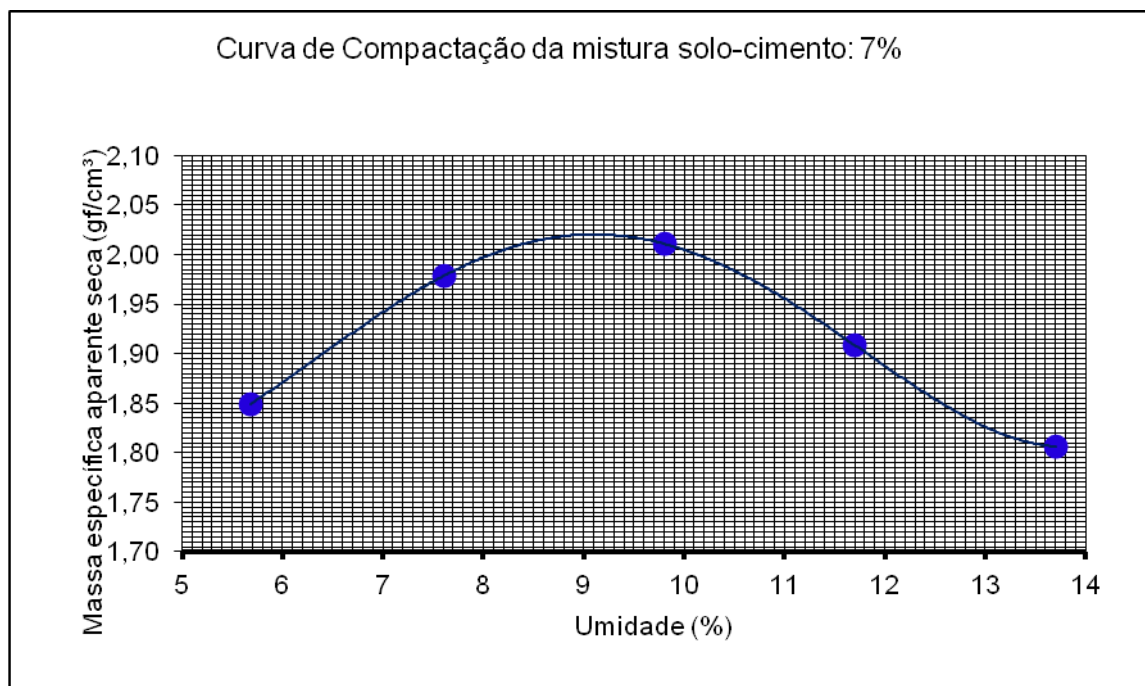


Figura 3. Curva de compactação da mistura de solo-cimento com teor de cimento de 7%.

Teor de cimento de 9%

Assim como no ensaio de teor de cimento de 7%, os dados foram alocados em tabelas, e a umidade ótima e o peso específico, obtidos através do gráfico da curva de compactação. Na Tabela 7 e Tabela 8 estão apresentados os dados e resultados do ensaio de compactação da mistura solo-cimento com teor de 9% de cimento.

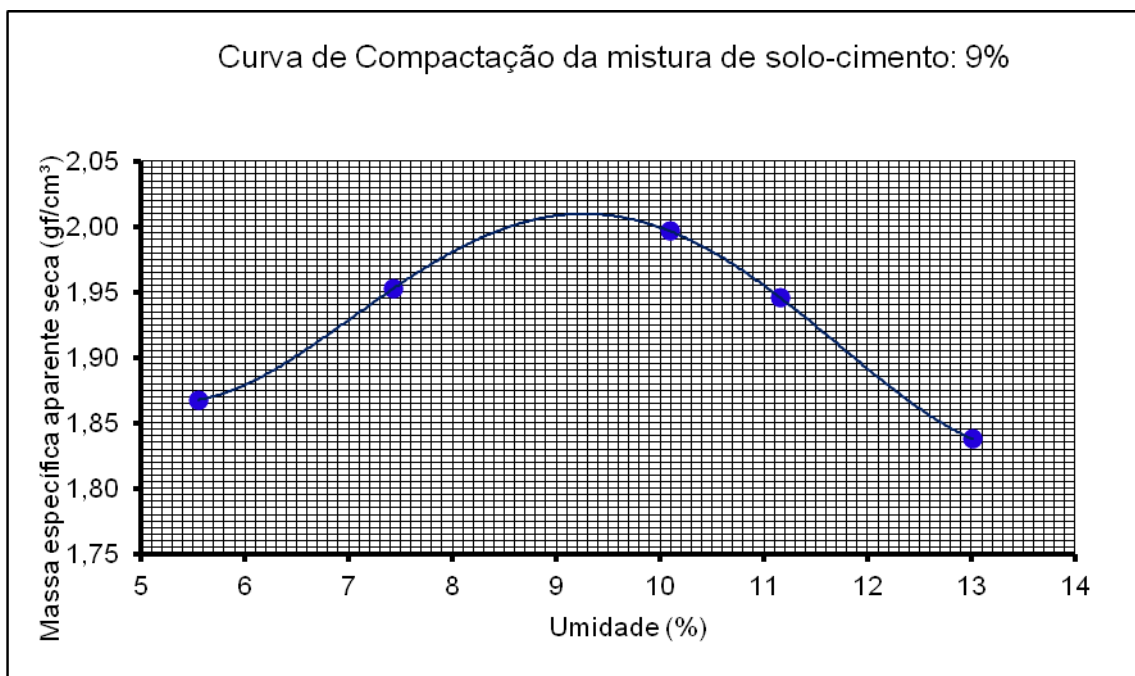
Tabela 7. Dados do ensaio de compactação e peso específico úmido da mistura solo-cimento com teor de cimento de 9%.

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO					
Cilindro nº	7	7	7	7	7
Água acrescentada (ml)	175	198	255	315	368
Peso do cilindro (gf)	2472	2472	2472	2472	2472
Volume do cilindro (cm^3)	998,2	998,2	998,2	998,2	998,2
Peso do cilindro + solo úmido (gf)	4440	4566	4666	4631	4545
Peso do solo úmido (gf)	1968	2094	2194	2159	2073
Número de golpes por camada	26	26	26	26	26
Peso específico do solo úmido (gf/cm^3)	1,972	2,098	2,198	2,163	2,077

Tabela 8. Determinação da umidade e do peso específico aparente da mistura solo-cimento por ponto com teor de 9% de cimento.

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE					
Cápsula nº	17	13	35	5	3
Amostra úmida + cápsula (g)	137,27	114,91	142,10	146,61	139,41
Amostra seca + cápsula (g)	131,32	108,58	131,34	134,54	126,30
Massa de água (g)	5,95	6,33	10,76	12,07	13,11
Massa da cápsula (g)	24,20	23,40	24,80	26,35	25,54
Massa de sólidos (g)	107,12	85,18	106,54	108,19	100,76
Umidade (%)	5,55	7,43	10,10	11,16	13,01
Peso esp. Aparente do solo seco (gf/cm ³)	1,868	1,953	1,996	1,946	1,838

A umidade ótima obtida no gráfico de 9,40% proporcionou um peso específico de 2,010 gf/cm³, conforme Figura 4.

**Figura 4.** Curva de compactação da mistura de solo-cimento com teor de cimento de 9%.

Teste de compressão simples em corpos de prova cilíndricos

Para a moldagem dos corpos de prova utilizou-se a umidade higroscópica dos ensaios de compactação da mistura solo-cimento, ou seja, para o teor de 7% de cimento adicionou-se água até que se obtivesse a umidade da mistura seca de 9% (216 ml), para o teor de cimento de 9% adicionou-se água até que se obtivesse 9,40% de umidade (225 ml), e para o teor de cimento de 8% utilizou-se um valor médio de umidade ótima (9,20%), baseado nos demais valores, adicionando-se 193 ml de água em cada corpo de prova.

Após o tempo de cura, da imersão dos corpos de prova e de secar os mesmos, verificou-se as dimensões e as massas conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Dados necessários para o teste de compressão simples em corpos de prova cilíndricos.

Teor de cimento	Corpo de prova	Diâmetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Massa (g)
7%	1	10,01	12,78	78,77	2178,40
	2	10,02	12,75	78,85	2184,40
	3	10,02	12,75	78,89	2180,60
	4	10,03	12,72	79,05	2194,90
	5	10,02	12,75	78,89	2196,00
8%	1	10,01	12,75	78,73	2194,60
	2	10,02	12,74	78,85	2190,40
	3	10,01	12,71	78,81	2197,80
	4	10,01	12,69	78,81	2200,50
	5	10,03	12,75	79,01	2199,90
9%	1	10,02	12,68	78,89	2176,00
	2	10,03	12,73	79,05	2190,80
	3	10,02	12,73	78,85	2188,50
	4	10,03	12,75	79,03	2195,80
	5	10,03	12,69	79,01	2187,80

Como dito anteriormente, utilizou-se uma prensa elétrica para o ensaio, na qual é programada para desativar-se ao ocorrer o rompimento do corpo de prova. Contudo, a prensa indica o valor da deformação do anel, necessitando-se de utilizar a equação do anel para se obter a carga aplicada. Os valores da deformação do anel, carga aplicada e da resistência dos corpos de prova estão descritos na Tabela 10.

Com o rompimento dos corpos de prova surgiram-se fissuras ao longo dos mesmos, podendo ser visíveis.

Souza et al. (2008) obtiveram valores de resistência à compressão média em corpos de prova cilíndricos próximo a 2,8 MPa com 6% de cimento e próximo de 3,5 MPa com 8%. O valor de resistência média obtido por Rolim et al. para 8% de cimento foi de 3,26 MPa. Ferraz e Segantini (2004) obtiveram valores de 2,8 e 3,3 MPa para 6% e 8% de cimento respectivamente. Neste trabalho obteve-se os valores médios de 2,91 MPa com 7% de cimento, 3,27 MPa com 8%, e, 3,41 MPa com 9%, valores esses aproximados aos obtidos por outros autores.

Tabela 10. Resistência dos corpos de prova com as respectivas cargas aplicadas.

Teor de cimento	Corpo de prova	Carga (kN)	Deformação do anel (1/1000mm)	Resistência (Mpa)	Média (MPa)
7%	1	22,45	1019	2,84	2,91
	2	23,56	1070	2,98	
	3	23,61	1072	2,99	
	4	22,80	1035	2,88	
	5	22,36	1015	2,83	
8%	1	22,45	1019	2,85	3,27
	2	28,17	1280	3,57	
	3	30,03	1365	3,81	
	4	24,55	1115	3,11	
	5	23,80	1081	3,01	
9%	1	28,28	1285	3,58	3,41
	2	24,57	1116	3,10	
	3	27,03	1228	3,42	
	4	27,86	1266	3,52	
	5	26,92	1223	3,40	

Teste de compressão em tijolos maciços

Os tijolos maciços cortados ao meio, assim como os tijolos inteiros, foram submetidos à mensuração das partes superior e inferior, sendo que o valor a ser considerado em suas dimensões é a média dos valores das duas faces. De acordo com a Tabela 11 são apresentados os valores obtidos no ensaio, conforme recomendação da NBR 8492 (1984), e na Tabela 12 encontram-se os valores obtidos no ensaio comparativo ao da norma, ou seja, dos tijolos inteiros submetidos ao ensaio.

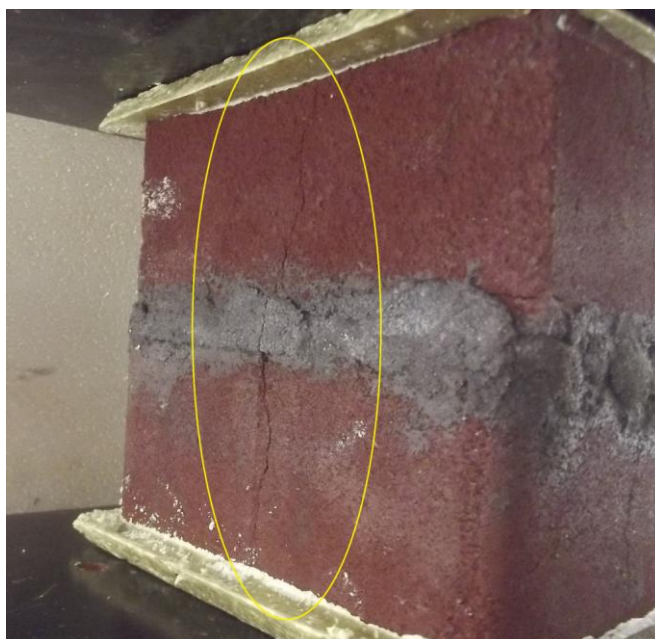
Tabela 11. Ensaio de resistência à compressão de tijolos maciços de solo-cimento conforme recomendação da NBR 8492 (1984).

Tijolo	Média das áreas (cm ²)	Carga de 1 ^a fissura (kN)	Resistência de 1 ^a fissura (MPa)	Carga de ruptura (kN)	Resistência de ruptura (MPa)
1	148,23	14,50	1,00	17,20	1,18
2	149,97	9,2	0,88	12,90	0,88
3	150,0525	9,2	0,63	14,5	0,99
4	150,0625	13,7	0,93	15,3	1,04
Média	149,58	11,65	0,86	14,98	1,02
D.P.	0,90	2,85	0,16	1,79	0,12

Tabela 12. Ensaio de resistência à compressão de tijolos maciços de solo-cimento inteiros.

Tijolo	Área (cm ²)	Carga de 1 ^a fissura (kN)	Resistência de 1 ^a fissura (MPa)	Carga de ruptura (kN)	Resistência de ruptura (MPa)
1	302,58	67,70	2,25	95,40	3,16
2	311,25	76,60	2,47	104,90	3,38
3	306,28	70,00	2,29	101,60	3,33
Média	306,70	71,43	2,34	100,63	3,29
D.P.	4,35	4,62	0,12	4,82	0,11

O surgimento das primeiras pequenas fissuras foi observado e anotado como carga e resistência de primeira fissura. O rompimento dos tijolos foi considerado no momento em que a prensa reconheceu e retomou a posição inicial, podendo ser visíveis as fissuras como ilustram a Figura 5 e Figura 6, em tijolos cortados e inteiros respectivamente.

**Figura 5.** Rompimento dos tijolos cortados no ensaio de compressão simples.

A NBR 8491 (1984) recomenda que os tijolos maciços tenham resistência média de 2,0 MPa, e que nenhum dos tijolos ensaiados apresentem resistência menor do que 1,7 MPa. A média obtida no ensaio de compressão simples em tijolos maciços conforme a norma foi de 1,02 MPa e os valores individuais de resistência foram abaixo da recomendação

O teste realizado com os tijolos inteiros realizou-se para avaliar a variação quando comparado com os procedimentos da norma NBR 8492 (1984). Em relação à média dos ensaios houve uma variação de 68% a mais na resistência quando os tijolos foram ensaiados inteiros. A variação ocorreu devido ao tipo de ensaio (inteiro e cortado), à influência das modificações na estrutura dos tijolos, como o corte ao meio e a ligação com a argamassa.



Figura 6. Rompimento dos tijolos inteiros no ensaio de compressão simples.

Rolim et al. (1999), ao estudarem a resistência de tijolos cortados ao meio moldados com as características parecidas com o solo estudado neste trabalho (classificação A_{2-4} com 8% de cimento), concluiu que as primeiras fissuras apareceram sob tensões da ordem de 0,91 MPa, sendo que para esta carga ocorreu um começo de separação entre o tijolo e a junta de argamassa. Os mesmos autores ao analisarem a resistência dos tijolos maciços com 8 % de cimento obtiveram a resistência média de 2,2 MPa, resultado satisfatório à norma. Já Ferraz e Segantini (2004), obtiveram os valores médios de 1,6 e 2,3 MPa com 6 e 8% de cimento respectivamente, para o rompimento total dos tijolos.

Ensaio de absorção de água

Conforme recomendação da NBR 8491 (1984) a média dos valores de absorção não deve ser superior a 20% e não deve apresentar valores individuais superiores a 22%. O resultado obtido neste trabalho foi condizente com a norma, conforme se apresenta na Tabela 13.

Tabela 13. Valores de absorção de água.

Tijolo	M1 (g)	M2 (g)	A (%)	Média (%)
Cp1	3207,6	3695,1	15,20	15,39
Cp2	3045,9	3569,5	17,19	
Cp3	3357,3	3820,4	13,79	

Ferraz e Segantini (2004) obtiveram os valores de 17,5 e 17,2% de absorção em tijolos de solo-cimento com 6 e 8% de cimento, respectivamente. Já Castro (2008) obteve 9,70% de

absorção ao sétimo dia de cura, com 10% de cimento incorporado, observando que a absorção diminuía com o tempo de cura, passando para 9,47% no quinquagésimo sexto dia.

Conclusões

Com base nas normas referentes ao assunto em estudo e em resultados de publicações pertinentes, tem-se como conclusões:

a) O ensaio de compactação do solo apresentou o valor de umidade ótima de 9,30% e o peso específico aparente seco de 1,99 gf/cm³ na energia de compactação normal.

b) O ensaio de compactação da mistura solo-cimento com adição de 7% de cimento e 9% de água resultou na umidade ótima de 9,0% e no peso específico aparente seco de 2,04 gf/cm³ na energia de compactação normal.

c) O teor de cimento de 7% adicionado ao solo proporcionou a produção de corpos de prova cilíndricos com o valor médio de resistência a compressão simples igual a 2,91 MPa. Este resultado obtido é superior ao valor mínimo de 2,1 MPa exigido pela NBR 12253 (1992). Observou-se que na medida em que se adiciona cimento na mistura a resistência do material aumenta como se observa nos valores comparativos de 8% e 9% de cimento na mistura.

d) Os tijolos maciços de solo-cimento moldados com 7% de cimento e 9% de água resultaram numa resistência a compressão simples de 1,02 MPa. Este valor obtido é inferior à resistência exigida pela NBR 8491 (1984), que é de 2,0 MPa.

e) O valor médio de absorção de água após o sétimo dia de cura nos tijolos maciços de solo-cimento foi de 15,39%. Os resultados de absorção individuais foram satisfatórios em relação às exigências, pois não apresentaram valores superiores a 22%, e nem o valor médio acima de 20%;

O único parâmetro avaliado que não atendeu as exigências das normas foi a resistência à compressão simples dos tijolos cortados ao meio, fato esse que pode ser explicado pela modificação na estrutura do tijolo ao realizar o corte e a junção com argamassa.

Como sugestão para futuras pesquisas com o solo desta região recomenda-se testar teores de cimento diferentes do adotado neste trabalho, assim como testar a adição de materiais como forma de reciclagem (por exemplo cinza da queima da cana-de-açúcar, material de demolição e outros demais materiais encontrados na agricultura regional) a fim de tornar a técnica de solo-cimento na região de Cidade Gaúcha mais sustentável e ecológica.

Referências

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de

utilização do cimento Portland. Boletim técnico, 106. 7.ed. São Paulo, 2002. 28 p. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-3361**: Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo maciço de solo-cimento: especificação. Rio de Janeiro, 1984. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1984. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10832**: Fabricação de Tijolo Maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro, 1989. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica. Rio de Janeiro, 1989. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023**: Solo-cimento – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1992. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento. Rio de Janeiro, 1992. 4 p.

CASTRO, S. F. **Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal

de Campina Grande, Campina Grande, 112 p., 2008.

FERRAZ, A. L. N.; SEGANTINI, A. A. S. **Estudo da aplicação de resíduo de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento compactado.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46, 2004, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, p. 219-245, 2004.

FERREIRA, R. C.; GOBO, J. C. C.; CUNHA, A. H. N. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2008.

FUNTAC - FUNDAÇÃO DE TECNOLOGIA DO ESTADO DO ACRE. Cartilha para produção de tijolos solo-cimento. Rio Branco, 25 p., 1999.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 165 p., 2003.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2006.

PENHA, J. R. B.; MOREIRA, G. S. S.; BARATA, M. S. Fabricação de tijolo solo-cimento com substituição parcial do solo natural por resíduo da construção e demolição para construção de casas populares de baixo custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 16 p., 2007.

PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. Disponível em:
<http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/N%C3%BAmero%201/1_artigo_tijolos_solo_cimento.pdf>. Acesso em: 16 de dezembro de 2011.

ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. Análise comparativa da resistência à compressão simples de corpos de prova, tijolos e painéis de solo-cimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 89-92, 1999.

SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 205-212, 2008.

VALENCIANO, M. D. C. M.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 484-492, 2004.

ZICA, E. S. **Estudo comparativo entre energias de compactação do subleito para subsidiar projetos de pavimentação**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica/Geotécnica de pavimentos) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 117 p. 2010.

WICHMANN, V. A. **Solos da região do Arenito Caiuá: avaliação de suas propriedades físicas com vistas à produção de tijolos de solo-cimento**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha, 42 p., 2010.

WICHMANN, V. A.; FERRARI, V. J.; VIEIRA NETO, J. G. Solos da região do Arenito Caiuá: avaliação de suas propriedades físicas com vistas à produção de tijolos de solo-cimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40, 2011, Cuiabá. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira

Recebido para publicação em: 15/08/2012

Aceito para publicação em: 20/09/2012