

D O S S I Ê T É C N I C O

Solo-cimento

Marcelo Shiniti Uchimura

Instituto de Tecnologia do Paraná

**Novembro
2006**

Sumário

1 INTRODUÇÃO	2
1.1 O que é solo-cimento?	2
1.2 História	4
1.3 Vantagens do solo-cimento	4
2 MATÉRIA-PRIMA	4
2.1 Escolha do solo	4
2.1.1 Ensaio de resistência seca	5
2.1.2 Ensaio do bolo	5
2.1.3 Ensaio do cordão	5
2.1.4 Ensaio da fita	6
2.1.5 Teste empírico para determinar o teor de areia no solo	6
2.2 Escolha da água	6
2.3 Dosagem de solo-cimento	7
2.3.1 Método para construções de pequeno porte	7
2.3.2 Método para construções de grande porte	7
3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO	9
3.1 Tijolos ou blocos	10
3.2 Paredes maciças ou monolíticas	10
3.2.1 Fôrmas	10
3.2.2 Guias	10
3.2.3 Soquetes, fundações e levantamento das paredes	12
3.3 Pavimento de solo-cimento	13
3.4 Solo-cimento ensacado	15
4 FABRICANTES DE PRENSAS MANUAIS E HIDRÁULICAS	16
5 NORMAS TÉCNICAS	17
5.1 Caracterização do solo	17
5.2 Caracterização do solo-cimento	17
5.3 Método de fabricação	17
Conclusões e recomendações	18
Referências	18
Anexo 1 - Como construir com tijolos de solo-cimento	19

Título

Solo-cimento

Assunto

Fabricação de artefatos de cerâmica e barro cozido para uso na construção, exceto azulejos e pisos

Resumo

Este dossiê aborda aspectos tecnológicos importantes para o empreendedor interessado na produção de blocos, tijolos ou paredes maciças, pavimentos e muros de arrimo com solo-cimento, um importante material alternativo para o segmento da construção civil.

Palavras-chave

Bloco; construção civil; ensaio mecânico; fabricação; manual; matéria-prima; norma técnica; pavimento; prensa hidráulica; processamento; produção; solo-cimento; tijolo ecológico; tijolo solo-cimento

Conteúdo

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo contém informações preliminares sobre o solo-cimento, sua história e vantagens no uso desse material de engenharia.

1.1 O que é solo-cimento?

O solo-cimento é o resultado da mistura homogênea de solo, cimento Portland e água em proporções adequadas, após sofrer compactação e cura. É um material que possui boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade. Todas essas características são excelentes para um material de construção civil.

O solo é o componente mais abundante no solo-cimento. O cimento, propriamente, entra em uma quantidade que fica, aproximadamente, entre 6% e 10% em peso, o suficiente apenas para estabilizar e conferir propriedades de resistência desejadas ao produto final.

Praticamente qualquer tipo de solo pode ser utilizado. O solo pode ser extraído do próprio local da obra de construção. Entretanto, os solos mais apropriados são os que possuem teor de areia entre 45% e 50%. Somente os solos que contêm matéria orgânica em sua composição não podem ser utilizados.

Há quatro modos de utilização do solo-cimento: tijolos ou blocos, parede maciça (também chamada de parede monolítica), pavimento e ensacado (QUADRO 1). Os tijolos ou blocos são produzidos em prensas, dispensando a queima em fornos (FIG. 1). Eles só precisam ser umedecidos, para que se tornem resistentes.

Além da grande resistência, outra vantagem desses tijolos ou blocos é o seu excelente aspecto. As paredes maciças são compactadas no próprio local, em camadas sucessivas,

no sentido vertical, com o auxílio de fôrmas ou guias.

O processo de produção assemelha-se ao sistema antigo de taipa de pilão, formando painéis inteiriços, sem juntas horizontais. Os pavimentos também são compactados no local, com o auxílio de fôrmas, mas em uma única camada, constituem placas maciças totalmente apoiadas no chão.

O solo-cimento ensacado resulta da colocação do preparado de solo-cimento dentro de sacos, que funcionam como fôrmas. Depois de terem a boca costurada, esses sacos são colocados na posição de uso, onde são imediatamente compactados, um a um. O processo de execução assemelha-se à construção de muros de arrimo com matacões de pedra.

Quadro 1 - Resumo dos modos de utilização do solo-cimento

Benfeitoria	Aplicações	Modo de utilização
Edificações	Fundação (baldrame ou sapata corrida)	Parede maciça (a cava pode ser usada como forma)
	Alvenaria (parede)	Tijolos, blocos ou paredes maciças
	Piso e contrapiso	Pavimento
Passeios ou calçadas	Piso e contrapiso	Pavimento
Pátios e terreiros	Piso e contrapiso	Pavimento
Ruas e estradas	Piso e contrapiso	Pavimento
Contenção de encostas	Muro de arrimo	Ensacado
Silo-trincheira	Revestimento dos taludes	Ensacado ou parede maciça
Contenção de córregos	Revestimento dos taludes e canais (para irrigação, abastecimento)	Ensacado ou parede maciça
Pequenas barragens	Dique	Ensacado
Controle de voçorocas	Dique	Ensacado
Cabeceiras de pontes, pontilhões, bocas de galerias	Muro de arrimo	Ensacado

Fonte: BANET



Figura 1 – Tijolos de solo-cimento
Fonte: TÉCNICA DO SOLO-CIMENTO

1.2 História

Segundo ABIKO (1980), o solo-cimento foi usado 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 estudando a tecnologia desse material.

No Brasil, segundo THOMAZ (1979), o emprego de solo-cimento na construção de edificações aconteceu pela primeira vez em 1945, na cidade de Santarém (PA), onde foi construída, em caráter experimental, uma casa de bombas com 42 m², para abastecimento das obras de construção do aeroporto local.

Em 1948, foi feita a construção de casas residenciais de solo-cimento no logradouro de Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis (RJ). Em 1953 foi inaugurado o Hospital de Tuberculosos de Manaus (AM), hoje Hospital Geral Adriano Jorge, com uma área total construída de 10.800 m², completamente feito com solo-cimento em paredes monolíticas.

O bom estado de conservação em que essas edificações encontram-se hoje atesta claramente a qualidade do material e da técnica construtiva. A partir daí, o uso do solo-cimento foi consideravelmente ampliado por causa das vantagens técnicas e econômicas que o material oferece.

1.3 Vantagens do solo-cimento

Um fator que torna um tijolo de solo-cimento barato é a economia de energia na sua fabricação. Para se ter uma idéia, mil tijolos de argila (para tijolo tradicional) precisam ser queimados com 1 m³ de madeira, nos fornos, durante a fabricação, o que equivale a mais ou menos seis árvores de porte médio.

O custo do frete também pode ser eliminado, pois o solo do próprio local da obra pode ser usado na fabricação do solo-cimento. Uma outra vantagem ainda é que, ao contrário dos tijolos de argila queimada, que têm de ser jogados fora quando quebram, os de solo-cimento podem ser moídos e reaproveitados.

2 MATÉRIA-PRIMA

Neste capítulo, será analisado como escolher o solo e as quantidades de cimento e água colocados na mistura para obter tijolos de solo-cimento de qualidade.

2.1 Escolha do solo

“O solo que tenho é ideal para fazer construções em solo-cimento?”

O solo que deve ser usado na mistura é muito parecido com o “arenoso” usado em argamassas de alvenaria e reboco. Ele não deve ter muito barro, mas também não deve ter somente areia. Os solos mais adequados para a fabricação de tijolos de solo-cimento são os que possuem as características técnicas descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Características técnicas típicas de solos usados para fabricar tijolos de solo-cimento

Passando na peneira 4,8 mm (n.º 4)	100%
Passando na peneira 0,075 mm (n.º 200)	10 – 50%
Limite de liquidez	Menor ou igual a 45%
Índice de plasticidade	Menor ou igual a 18%

Fonte: PIRES (2004)

A seguir, serão apresentados alguns testes e ensaios práticos que poderão ser feitos para saber se o solo é adequado para a fabricação de tijolos de solo-cimento.

O solo utilizado como matéria-prima, provavelmente, será o que se encontra no terreno onde ficará a obra. Os ensaios devem ser realizados com terra coletada de vários pontos diferentes do terreno, bem separados uns dos outros, tomando 30 pontos de amostragem como base.

Se a maioria das amostras de solo satisfizer pelo menos um desses ensaios, o solo é adequado. Caso contrário, será necessário misturá-lo com um solo arenoso de outro local. Deve-se repetir os ensaios até que a mistura de solos resulte um solo de características enquadráveis às especificações.

2.1.1 Ensaio de resistência seca

- Com o solo bem molhado, faça duas ou três pastilhas com mais ou menos 1 cm de espessura e 3-4 cm de diâmetro. Como fôrma, use latas de leite em pó ou similares;
- Deixe secar ao sol por dois dias;
- Depois desse tempo, com o polegar e o indicador, tente esmagar as pastilhas. Se as pastilhas partirem sem muito esforço, então pode usar o solo.

2.1.2 Ensaio do bolo

- Com uma porção de solo bastante úmido, faça uma bolinha;
- Coloque a bolinha na palma da mão;
- Com a palma da outra mão, dê 20 a 30 golpes na bolinha até que a água aflore na superfície, dando à bola um aspecto liso e brilhante (FIG 2).

O solo servirá se a água aflorar com os golpes e desaparecer o brilho quando se pressiona a bolinha levemente, com os dedos.

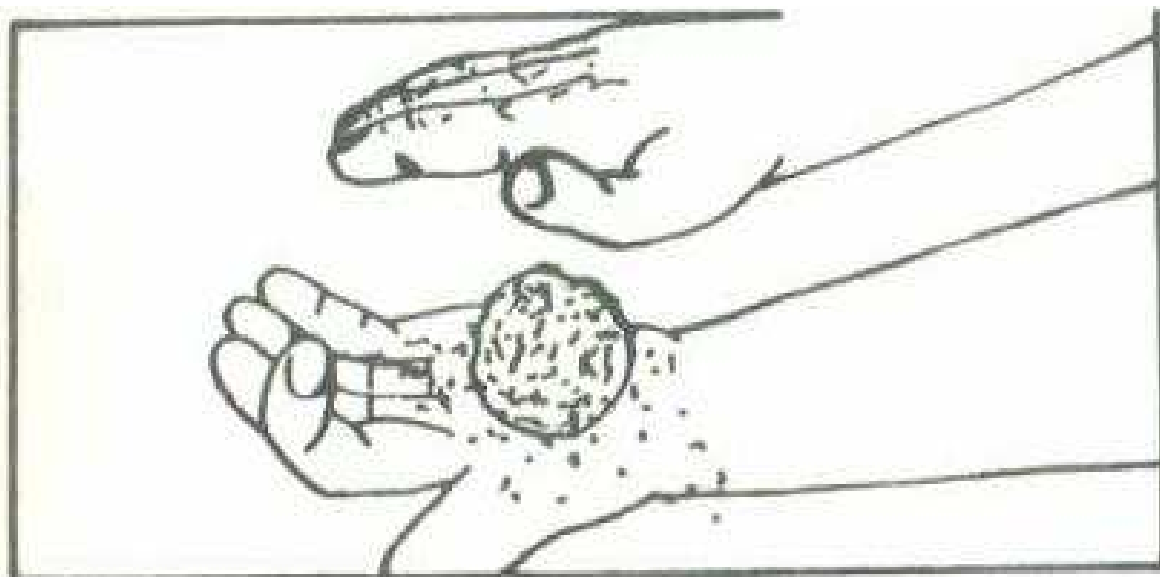


Figura 2 – Ensaio do bolo
Fonte: PARANÁ (1984)

2.1.3 Ensaio do cordão

- Sobre uma superfície lisa, coloque uma porção de solo e tente fazer, rolando o bolo sobre a superfície, um cordão com 3 mm de diâmetro;

- Acrescente água aos poucos;
- Quando os rolos começarem a quebrar, pare de colocar água e faça então um bolinho com a massa de solo;
- Com o polegar e o indicador, tente esmagar essa bola.

O solo serve se a bola rachar sem muito esforço ou não conseguir ser moldada sem rachar.

2.1.4 Ensaio da fita

- Tome uma porção de terra com a mesma umidade da usada no ensaio do cordão;
- Faça um cilindro com o diâmetro aproximado de um cigarro;
- Achate o cilindro de modo a formar uma fita com 3 a 6 mm de espessura.

Serve o solo que der fita com no máximo 5 a 10 cm. O solo não serve se a espessura da fita ficar acima de 10 cm.

2.1.5 Teste empírico para determinar o teor de areia no solo

Este teste é destinado ao técnico ou engenheiro da obra e serve para avaliar quanto de areia há aproximadamente no solo usado.

- Pegue um vidro de paredes retas, transparente e com tampa (ex.: vidro de maionese), com capacidade de meio litro (500 ml);
- Com o solo a ser testado, encha o vidro até 1/3 de sua altura. Meça a altura da camada de solo. Anote e chame o valor de “x”;
- Complete com água até 2/3 da altura do vidro;
- Adicione 2 colheres pequenas de sal de cozinha;
- Tampe o vidro e agite bem;
- Deixe descansar por uma hora. A areia vai se “separar” dos outros materiais do solo;
- Meça a altura da camada de areia no fundo do vidro. Anote e chame o valor de “y”;
- Pegue o valor “y”, divida pelo valor “x” e multiplique por 100.

O resultado do cálculo é o teor, em porcentagem, de areia no solo, aproximadamente.

2.2 Escolha da água

Geralmente, se a água for potável, ela estará apta para o uso.

Se a água for proveniente de poços ou cisternas, é recomendável analisá-la em laboratório especializado para se certificar de que não há substâncias nocivas à hidratação do cimento, tais como matéria orgânica e sulfatos, dissolvidas nela.

2.3 Dosagem de solo-cimento

2.3.1 Método para construções de pequeno porte

Primeiramente, o solo deve ser pulverizado de forma a se desfazer os torrões e grumos de terra. Em seguida, peneire-o com peneira de malha de 4,8 mm.

A primeira etapa é misturar o solo ao cimento. Prepare três traços volumétricos, de 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento : solo) e, para cada traço, faça seis tijolos usando a prensa para tijolos ou uma fôrma para blocos cilíndricos, própria para fazer corpos-de-prova.

Leve os tijolos ou corpos-de-prova obtidos a um laboratório especializado, para identificar o traço com o melhor custo-benefício. Isto é, deve-se escolher o traço com maior proporção de solo, mas que apresentar valor médio de resistência à compressão igual a 2,0 MPa, sendo que nenhuma amostra de ensaio deve ficar com valor individual abaixo de 1,7 MPa à idade de 7 dias; e o valor médio de absorção de água não deve ser superior a 20%, nem apresentar valores individuais acima de 22%.

A próxima etapa é saber a quantidade de água a ser misturada. Isso é feito da seguinte forma: tome um punhado da mistura em suas mãos e aperte-o entre os dedos. Ao abrir a mão, o bolo deverá ter a marca deixada pelos dedos. Se não ficarem marcas perfeitas, deve-se adicionar água à mistura.

Deixe o bolo cair de uma altura de mais ou menos um metro, sobre uma superfície dura. O bolo deverá esfarelar-se ao se chocar com a superfície. Caso isso não ocorra, a mistura deve estar muito úmida.

2.3.2 Método para construções de grande porte

O teor de umidade presente no solo pode variar bastante e o solo pode inchar mais ou menos conforme essa variação de umidade. O método a seguir foi desenvolvido para levar em conta esse inchamento do solo e permite calcular o traço baseado no peso do solo no momento do preparo.

Basicamente, deve-se pesar um volume fixo de solo e calcular (ou ler em um gráfico) a quantidade de água e o número de volumes fixos de solo a serem misturados com um saco de cimento. O método necessita de algumas análises laboratoriais, que são:

- 1) determinação da densidade do solo-cimento seco e sob máxima compactação (parâmetro D);
- 2) determinação da umidade percentual ótima (parâmetro U) e;
- 3) curva de inchamento do solo em função da umidade presente nele.

Primeiramente, deve-se estabelecer um volume fixo de amostra de solo. Usa-se, por exemplo, uma padiola de 50 L como padrão de medição.

- Curva de inchamento

Prepare 200 L de solo, secando-o até atingir uma umidade inferior a 5%. Preencha a padiola de 50 L com o auxílio de pás, da mesma forma que seria feito na obra e regularize a superfície com uma régua. Pese o solo.

Repita o procedimento três vezes, cada vez com uma amostra de solo diferente, para obter o peso médio do volume fixo contido na padiola. Misture ao solo uma quantidade de água suficiente para incrementar a umidade em cerca de 2%. Repita o processo anterior.

Repita o processo anterior até ultrapassar em 3% a umidade ótima U , obtendo-se, desse modo, uma curva de inchamento (FIG. 3) em função da umidade (TAB. 1).

Tabela 1 - Exemplo de curva de inchamento

Ponto da curva	Peso médio da padiola (kg)	Teor médio de umidade (u, %)	Peso seco da padiola (P, kg)
1	73,5	4,2	70,5
2	66,1	6,5	62,1
3	60,8	8,2	56,2
4	56,3	9,4	51,5
5	51,9	11,2	46,7
6	51,1	13,5	45,0
7	51,3	15,2	44,5
8	57,5	17,4	49,0

Fonte: Adaptado de THOMAZ (1979).

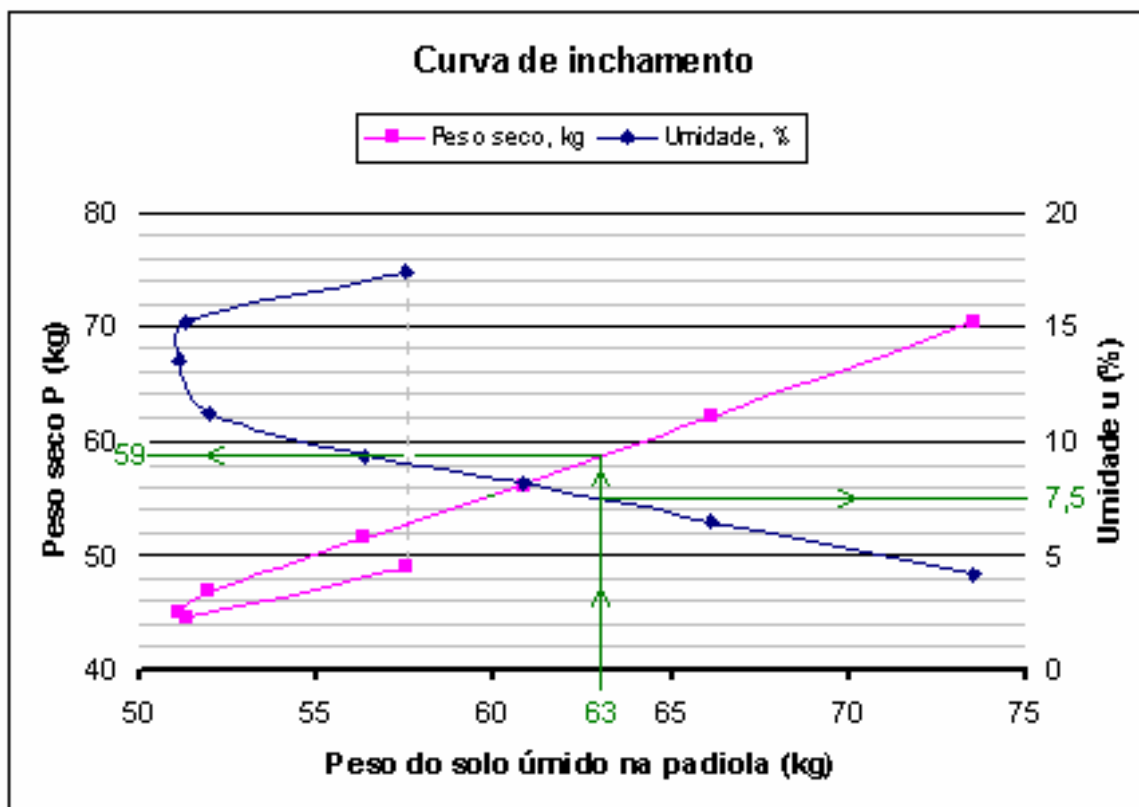


Figura 3 – Curva de inchamento
Fonte: Adaptado de THOMAZ (1979)

- Cálculo do traço

Para cada saco de cimento de 50 kg:

$$V = \frac{nP + 50}{D} \quad [1],$$

onde:

V	Volume de solo-cimento compactado à densidade máxima.
n	Número de padiolas de solo solto a juntar com cada saco de cimento.
P	Peso do solo seco contido em uma padiola.
D	Parâmetro D, densidade do solo-cimento seco e sob máxima compactação.

Se o teor de cimento (em volume) for fixado em $v = 7,5\%$ (base seca) e considerado o saco de cimento como tendo um volume de 35 L,

$$\frac{7,5}{100} \times V = 35$$

$$V = 466,67 L$$

Substituindo em [1], vem:

$$n = \frac{466,67D - 50}{P}$$

- Cálculo da água

$$A = \frac{nP(U - u) + 50U}{100} \quad [2]$$

onde:

A	Quantidade de água, em litros, a juntar para atingir o parâmetro U .
n	Número de padiolas de solo solto a juntar com cada saco de cimento.
P	Peso do solo seco contido em uma padiola.
u	Umidade percentual presente no solo solto.
U	Parâmetro U , umidade percentual ótima.

Reordenando [1] de forma a isolar nP e substituindo em [2], vem:

$$A = \frac{466,67DU - (466,67D - 50)u}{100}$$

3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

3.1 Tijolos ou blocos

Para a produção de pequenos volumes é usada a prensa manual, de baixo custo e com produção da ordem de 1.500 tijolos maciços por dia. Essas prensas são pequenas e pesam menos de 150 kg.

Modo de operação:

- abra a tampa da fôrma da prensa e coloque a mistura de solo-cimento;
- feche a tampa da fôrma da prensa, nivelando a mistura e retirando o excesso;
- movimente a alavanca no sentido de compactação da mistura, até o fim do seu curso;

- d) logo após a prensagem, retorne a alavanca à posição inicial. A seguir, abra a tampa da fôrma e acione novamente a alavanca, no sentido de compactação. Isso empurrará os tijolos para fora da fôrma (desforma);
- e) após a desforma, os tijolos podem ser imediatamente retirados da prensa, mas com cuidado. Eles devem ser empilhados em local protegido do sol e do vento. As pilhas não devem ter mais que 1,5 m de altura. Nesse local, eles devem ser molhados, pelo menos 3 vezes ao dia, durante os 7 primeiros dias. Após essa fase, chamada de *cura*, os tijolos estarão prontos para o uso.

Também existem no mercado as prensas hidráulicas que podem fabricar tanto os tijolos quanto os blocos de solo-cimento, com capacidade de produção relativamente grande.

3.2 Paredes maciças ou monolíticas

Para a execução de paredes maciças de solo-cimento é preciso preparar as fôrmas, as guias dessas fôrmas e os soquetes para a compactação.

3.2.1 Fôrmas

São necessários dois conjuntos de fôrmas. Cada conjunto é composto de duas chapas de madeira compensada resinada. O comprimento dessas chapas deve ser igual ou maior que a distância entre as guias de apoio, mais 6 cm. A altura não deve ultrapassar 60 cm, e a espessura deve ser de 18 mm. As chapas devem ser estruturadas com sarrafos de madeira serrada de 2,5 cm x 7,5 cm.

Para melhor acabamento das paredes, as fôrmas devem ser revestidas com chapa galvanizada n. 26.

São necessários também 12 parafusos trespassantes, para fixar as fôrmas no local de compactação e 12 tubinhos de PVC de comprimento igual à espessura da parede, usados para evitar que as fôrmas se deformem quando os parafusos são apertados.

As paredes maciças de solo-cimento devem ter uma junta vertical a cada 210 cm, para evitar trincas. Por isso, as guias de apoio das fôrmas e aprumo da parede devem ser colocadas umas das outras a uma distância menor ou igual a 210 cm (TABELA 2).

Tabela 2 - Espessura da parede em função do pé-direito

Pé-direito (m)	Espessura da parede maciça (cm)
2,00 a 2,60	10
2,60 a 3,50	15
3,50 a 4,50	20

Fonte: PARANÁ (1984)

3.2.2 Guias

As guias têm a altura da parede mais a parte que fica enterrada (50 cm). Podem ser de madeira ou de concreto armado pré-moldado. No caso da madeira, as guias são retiradas após a compactação e reaproveitadas e são feitas com madeira serrada com dimensões de 7,5 cm x espessura da parede x altura da parede.

Nas extremidades dos painéis deve ser feito um rebaixo em forma de “V”, de cima para baixo, com 12,5 cm de profundidade, que funciona como junta e proporciona uma boa amarração com o painel vizinho. Esse rebaixo deve ser feito logo após a desforma e retirada das guias, antes que o solo-cimento endureça. É preciso apoiar uma régua de madeira na extremidade do painel e, com a colher de pedreiro, raspar o solo-cimento até obter o rebaixo necessário.

As guias de concreto armado são fixas. Elas ficam incorporadas ao solo-cimento, o que aumenta muito a rigidez das paredes. As guias de concreto armado são parecidas com

mourões de cerca, são quadradas e têm a mesma espessura da parede. Elas podem ser produzidas no próprio local de uso e já devem ser moldadas com o rebaixo. O traço para as guias de concreto é uma parte de cimento, três de areia grossa e três de pedra brita n. 1 ou seixos.

As fôrmas para a concretagem dessas guias são feitas com chapas de madeira serrada, nas quais são pregados tubos de PVC cortados ao meio no sentido do comprimento (FIG. 4).

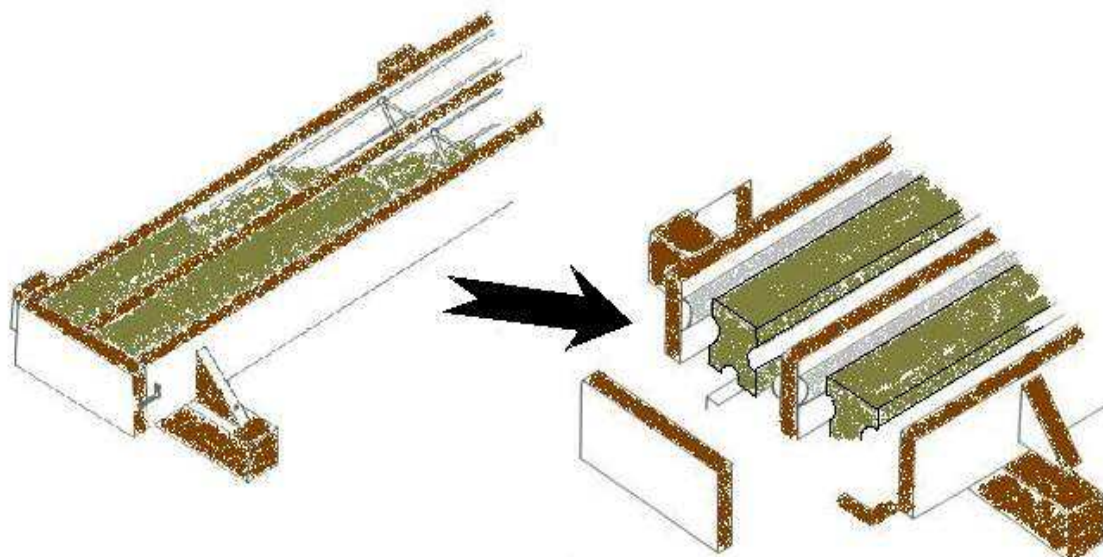


Figura 4 - Fôrmas para as guias de concreto
Fonte: PARANÁ (1984)

Com um conjunto de fôrmas, podem ser concretadas várias guias ao mesmo tempo. A armadura das guias é composta de 4 ferros de 6,3 mm de bitola, amarrados por estribos de 5 mm de bitola, a cada 30 cm (FIG. 5).

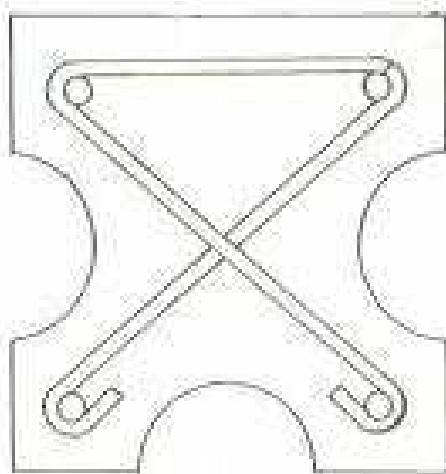


Figura 5 - Estribo para guia de concreto
Fonte: PARANÁ (1984)

3.2.3 Soquetes, fundações e levantamento das paredes

Para compactar o solo-cimento, podem ser utilizados dois tipos de soquetes de madeira:

- soquetes para fundações;
- soquetes para paredes maciças.

A execução das paredes maciças de solo-cimento começa pelo preparo das fundações (baldrame), que também podem ser feitas com o solo-cimento. Nesse caso, as dimensões da fundação serão iguais às projetadas a outros materiais (blocos, tijolos, concreto, etc.). Tome a Tabela 3 como referência.

Tabela 3 – Dimensões da fundação em função da espessura das paredes

Paredes (cm)	Fundação	
	Baldrames (cm)	Sapatas (cm)
10	25 x 30	40 x 40 x 50
15	25 x 30	40 x 40 x 90
20	30 x 30	50 x 50 x 110

Fonte: PARANÁ (1984)

A mistura do solo-cimento é lançada e compactada nas próprias cavas, em camadas sucessivas de 20 cm, no máximo, sem necessidade de uso de fôrmas. A mistura estará bem compactada quando o soquete não deixar mais marcas ao bater na superfície da camada.

As guias são colocadas em furos feitos nas fundações. Se estas forem de solo-cimento, os furos devem ser abertos, no máximo, 12 horas após o término da compactação. Se forem de outro material, os espaços dos furos devem ser deixados nas fundações quando elas estiverem sendo executadas. As dimensões dos furos devem ser 6 cm maiores que as guias (3 cm para cada lado).

Uma vez colocadas nos furos, as guias são aprumadas e escoradas. Esse escoramento é feito com um caibro preso a uma estaca cravada na terra e deve ser mantido durante a execução dos painéis, para evitar que as guias saiam do prumo durante a compactação.

A fixação das guias nos furos é feita do seguinte modo:

- se as guias forem de madeira, elas devem ser travadas com cunhas ou terra socada, o que permite a sua retirada após a compactação do painel;
- se as guias forem de concreto (fixas), em vez de cunhas ou terra socada, é usada uma argamassa com traço de uma parte de cimento para 6 partes de areia, ou o próprio solo-cimento compactado em camadas.

As fôrmas são fixadas nos seguintes modos:

- quando são usadas guias de madeira (a serem retiradas), as extremidades das fôrmas "abraçam" duas guias ou as extremidades de dois painéis prontos;
- quando são usadas guias de concreto (fixas), as extremidades das fôrmas sempre "abraçam" duas guias.

O que garante o "abraço" das fôrmas nas guias ou nos painéis prontos são parafusos que atravessam as fôrmas e pressionam um lado contra o outro, de modo a fixar cada conjunto no local de compactação do solo-cimento. Para evitar que os parafusos sejam pouco apertados ou apertados demais, são colocados tubinhos de PVC com o comprimento exato da espessura da parede no local onde os parafusos atravessam a fôrma.

No sentido vertical, as fôrmas se apóiam do seguinte modo:

- no primeiro lance, sempre sobre as fundações, niveladas com uma argamassa de regularização;
- daí para cima, sempre no conjunto de fôrmas inferior.

Assim que o primeiro conjunto de fôrmas estiver na posição, a mistura de solo-cimento é lançada no seu interior, em camadas sucessivas de não mais de 20 cm de altura, que devem ser imediatamente compactadas. Esse procedimento é repetido até o preenchimento completo da forma.

Cada camada estará bem compactada quando o soquete não deixar mais marcas ao bater na superfície. Em seguida, é colocado o segundo conjunto de fôrmas. Completado o preenchimento total da segunda fôrma, a primeira é retirada e colocada sobre a outra. E assim sucessivamente, até se atingir a altura desejada da parede.

Os conjuntos de fôrmas devem ser retirados imediatamente após o término do painel inteiro. Os tubinhos de PVC usados dentro das fôrmas para suportar o aperto dos parafusos podem ser reaproveitados nos painéis seguintes. Para isso, eles devem ser empurrados para fora, logo após a desforma. Os furos deixados pelos tubinhos de PVC devem ser preenchidos com o próprio solo-cimento, a partir do dia seguinte à execução da parede.

Quando são usadas guias de madeira, deve-se fazer um friso, com uma colher de pedreiro, na junta vertical entre os painéis.

Na execução das paredes de moradias e galpões, as esquadrias (portas e janela) devem ser assentadas simultaneamente à execução dos painéis. Mas é preciso reforçar os caixões das esquadrias, para evitar que se deformem durante a compactação.

As instalações hidráulica, sanitária e elétrica das edificações com paredes maciças de solo-cimento são executadas do mesmo modo que nas construções convencionais. Quando as instalações forem embutidas, os rasgos nas paredes devem ser feitos no máximo 48 horas após a compactação da mistura de solo-cimento.

A cura das paredes maciças é igual à dos tijolos de solo-cimento. As paredes devem ser molhadas pelo menos 3 vezes ao dia, durante uma semana. Não há necessidade de revestir as paredes maciças de solo-cimento, mas convém fazer uma pintura de impermeabilização (à base de látex, aguada de cimento, etc.).

3.3 Pavimento de solo-cimento

O pavimento de solo-cimento pode ser usado como piso e contrapiso na construção de passeios ou calçadas e de pátios ou terreiros. Para executar ruas ou estradas é preciso consultar um profissional especializado, por serem obras mais complexas.

Antes de iniciar a execução de pisos e contrapisos de solo-cimento é preciso definir a sua espessura, que depende da finalidade de uso, conforme descrito a seguir (QUADRO 3):

Quadro 3 - Espessura de pisos e contrapisos de solo-cimento

Finalidade	Espessura
Áreas internas de edificações, passeios ou calçadas e áreas onde não passem animais, máquinas ou cargas pesadas	8 cm
Pátios, terreiros, áreas onde passem animais e estacionamento de pequenas máquinas e implementos	15 cm

Fonte: BANET

O passo seguinte é a demarcação da área a ser pavimentada, com a cravação de piquetes de madeira, nos quais são esticados fios ou cordéis para definir os limites da obra. Esses

piquetes devem ser fixados pelo menos 40 cm para fora do contorno onde será feito o contrapiso. A seguir, é feita a limpeza do terreno, retirando a camada superficial de solo que contenha vegetação ou material orgânico. Depois, a área deve ser regularizada (execução dos cortes e/ou aterros necessários) e compactada.

Para saber a quantidade de solo a ser usada, deve ser considerada uma perda do seu volume por compactação. Por exemplo, 6 metros cúbicos de solo vão resultar em 4 metros cúbicos de solo-cimento, com a perda de 2 metros cúbicos por compactação. Portanto, para fazer um pavimento de 2,5 m de comprimento por 2,0 m de largura e 8 cm de espessura (4 metros cúbicos de volume final de solo-cimento compactado) será necessária uma quantidade de solo 50% superior, ou seja, 4 metros cúbicos mais 2 metros cúbicos (50% de 4 metros cúbicos), dando um total de 6 metros cúbicos. Em resumo, a regra é usar uma quantidade de solo 50% superior ao volume final do solo-cimento compactado. Esse solo destinado à produção de solo-cimento deve ser protegido da chuva, para não encharcar.

Nessa etapa é preciso definir outro detalhe: se o pavimento vai ser compactado sobre o terreno (sobrepосто) ou se vai ser encaixado nele.

Na execução de pavimentos de solo-cimento é usada uma fôrma de altura igual à espessura do pavimento e um complemento, também chamado de guia, com a metade da altura do pavimento. A guia é fixada sobre a fôrma, definindo a altura que a mistura de solo-cimento deve atingir antes de ser compactada. Na verdade, a altura da guia corresponde exatamente ao volume da mistura que será perdido na compactação.

O comprimento e a largura da fôrma e da guia dependem das dimensões da área a ser pavimentada. Se ela tiver, por exemplo, 9 m x 30 m, o serviço deve ser executado em faixas de 3 m de largura, e cada faixa em duas etapas de 15 m. Nesse caso, a fôrma terá um contorno de 3 m de largura por 15 m de comprimento. Terminada a execução desta etapa, a fôrma será reaproveitada nos restantes 15 m da faixa. Depois de pronta uma faixa, é executada a faixa seguinte.

É recomendável alternar a execução das faixas no sentido da largura, de modo que as faixas pares dispensem o uso de uma parte da fôrma. Em síntese, o pavimento desse exemplo será executado em 6 etapas.

As fôrmas são dispensáveis em duas situações:

- quando já houver uma faixa de solo-cimento compactado;
- quando a borda da cava do pavimento encaixado puder ser usada como fôrma.

A guia é sempre necessária.

Além da fôrma e da guia, é preciso ter um soquete liso (igual ao usado para compactar as fundações de solo-cimento) e um soquete de pontas. A mistura de solo-cimento é lançada na fôrma ou na cava, formando uma camada de altura um pouco superior à do topo das guias. O nivelamento da mistura é feito com uma régua de madeira apoiada nas guias. A compactação inicial é feita com o soquete de pontas até que restem apenas sulcos de, no máximo, 4 cm de profundidade. A compactação é completada com o soquete liso.

Em seguida, as guias são retiradas para compactar as bordas da faixa em execução, com um pedaço de caibro de madeira e uma marreta. Após a compactação de cada etapa, inclusive das bordas, o nivelamento da sua superfície é verificado com uma régua de madeira apoiada sobre as fôrmas. As partes que ficarem mais altas (acima do nível da fôrma) devem ser raspadas com a própria régua. As fôrmas podem então ser removidas, para reaproveitamento na etapa seguinte, conforme a seqüência de execução já explicada.

As faixas já concluídas precisam ser curadas, ou seja, mantidas úmidas por, no mínimo durante 7 dias. Isso pode ser feito cobrindo a superfície das faixas com sacos de aniagem, areia ou outro material, que devem ser mantidos sempre úmidos. Durante esse período

deverá ser evitado qualquer tipo de tráfego sobre o pavimento de solo-cimento.

3.4 Solo-cimento ensacado

O solo-cimento ensacado é feito com a mesma mistura usada anteriormente, só que as fôrmas são sacos de rafia, polipropileno ou aniagem, do tipo usado para embalar grãos (feijão, milho, café, etc.). Os sacos não precisam ser novos, podem ser aproveitados sacos usados, desde que não estejam rasgados, furados ou apodrecidos. Mas todos devem ser do mesmo tamanho. Sacos de papel ou de filme plástico não servem.

Para fechar os sacos, são usados uma grande agulha curva (de 15 cm, aproximadamente) e barbante fino, mas resistente, próprio para costurar sacarias, como, por exemplo, o usado para fechar sacos de café. É necessário dispor ainda de um soquete igual ao que se usa na compactação das fundações de solo-cimento e de um soquete frontal, para compactar os lados dos sacos.

A construção de muros de arrimo e o revestimento de taludes ou encostas de até 2 m de altura começam pela execução das fundações. Pode ser usada uma base de concreto simples ou mesmo de solo-cimento (baldrame), 1 cm mais larga que a base do muro (50 cm a mais de cada lado) e com 30 cm de altura. Essa base deve ser executada sobre terreno firme, nivelado e compactado.

Em seguida, os sacos são preenchidos com a mistura de solo-cimento até 80% da sua capacidade e costurados. Os sacos são colocados na posição de uso, no sentido horizontal, e alinhados um a um. Eles devem ser compactados logo após o posicionamento. Por isso, é recomendável não colocar mais de 5 sacos antes de começar a compactação. A primeira fiada é apoiada nas fundações. A segunda é colocada sobre a primeira, em sistema de amarração (mata-junta ou junta desencontrada) e assim sucessivamente (FIG. 6).

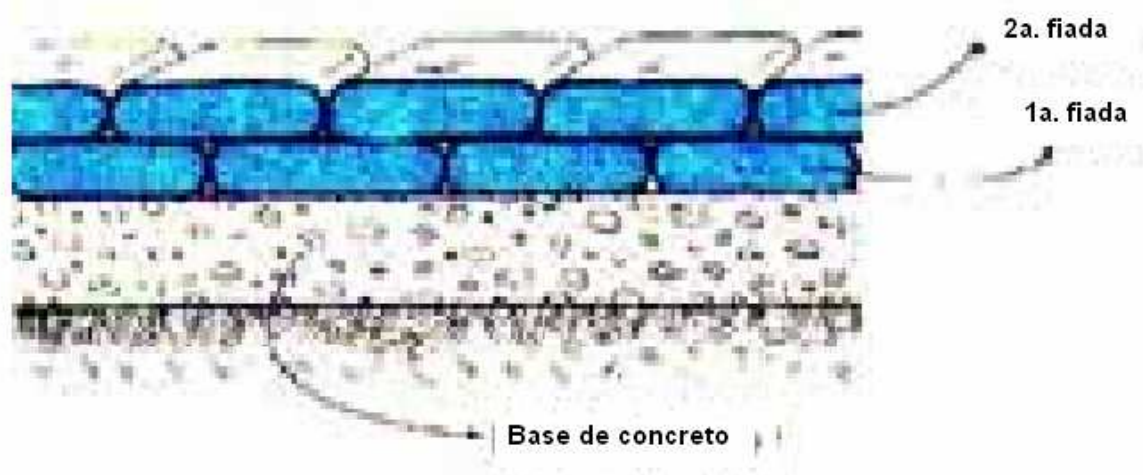


Figura 6 - Posição das fiadas em uma construção com solo-cimento ensacado
Fonte: BANET

A compactação deve ser feita no meio do saco para as bordas até que o soquete, ao bater, não deixe mais marcas na superfície do saco. Finalmente, devem ser compactados os lados dos sacos que vão ficar expostos, formando a superfície aparente do muro. Essa compactação pode ser feita de 5 em 5 sacos com o soquete frontal. Não se deve passar mais de 2 horas entre a preparação da mistura e a compactação dos sacos, já colocados em sua posição definitiva (incluindo o enchimento, a costura, o transporte e a colocação dos sacos na posição de uso).

Os drenos (barbaças) para escoamento da água que se infiltra atrás do muro são feitos de tubos de PVC, colocados antes da compactação, durante o posicionamento dos sacos. Os drenos devem ter uma espécie de filtro na boca, do lado do muro que será aterrado. Isso

pode ser feito com pedra n. 1 embrulhada em sacos porosos (do mesmo material indicado para ensacar o solo-cimento), amarrados na boca dos tubos de PVC. O re-aterro só deve ser feito depois que os drenos estiverem prontos.

É recomendável cobrir a última fiada de sacos com uma camada de concreto magro.

O solo-cimento ensacado tem uma outra aplicação muito útil no meio rural: a construção de diques para controle de voçorocas. Levantados em determinados intervalos, esses diques permitem diminuir a velocidade das águas, contendo o processo de erosão. Esse tipo de obra também favorece a recomposição do terreno, retendo o solo que antes era carregado pelas águas.

A execução dos diques assemelha-se à construção dos muros de arrimo de solo-cimento ensacado. Não há necessidade de fundações, mas é preciso nivelar e compactar a base de apoio dos sacos e escavar um pouco as encostas, para encaixar as extremidades das camadas sucessivas de sacos. Esses diques só podem ser construídos em épocas de estiagem.

A cura do solo-cimento ensacado é mais simples, porque os sacos retêm boa parte da umidade da mistura, basta regar as partes expostas uma vez ao dia, durante 7 dias. Terminada a obra, não há necessidade de retirar os sacos. Com o tempo, eles apodrecem e desaparecem. As superfícies podem então ser revestidas com uma camada de chapisco, caso haja necessidade de impermeabilização.

As obras de solo-cimento ensacado de maior porte exigem projeto e orientação de um profissional habilitado, pois envolvem muita responsabilidade. É o caso, por exemplo, de muros de arrimo, revestimentos de taludes ou encostas de mais de 2 m de altura, diques de barragens e muros de cabeceiras de pontes, pontilhões e bocas de galerias.

4 FABRICANTES DE PRENSAS MANUAIS E HIDRÁULICAS

ECO MÁQUINAS INDÚSTRIA, COMÉRCIO, IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO LTDA.
Rua Areti Deligeorge Vavas, 441
Colônia Nossa Senhora Aparecida
CEP: 79033-070 - Campo Grande – MS
Fone: (67) 3042-4280
e-mail: marketing@ecomaquinas.com.br

GTW ELETROMECÂNICA LTDA.
Rod. Fernão Dias, km 733
São Gonçalo do Sapucaí – MG
Fone: (35) 3241-1365
Fax: (35) 3241-4650
e-mail: contato2005@gutward.com.br
Site: <http://www.gutward.com.br>

MÁQUINAS MAN
Rua Marcos Bortion, 212
Caixa Postal 1024
CEP: 17512-330 - Marília – SP
Fone: (14) 3408-4400
Fax: (14) 3408-4401
e-mail: maquinasman@man.com.br
Site: <http://www.man.com.br>

PERMAQ MÁQUINAS PNEUMÁTICAS LTDA.
Avenida Sapopemba, 7218 Sapopemba
CEP: 03374-001 - São Paulo – SP
Fone: (11) 6918-9925
e-mail: correio@permaq.com.br
Site: <http://www.permaq.com.br>

SAHARA TECNOLOGIA, MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS LTDA.
Rua Miguel Rachid, 456/468 Ermelino Matarazzo
CEP: 03808-130 - São Paulo – SP
Fone: (11) 6943-6955
Site: <http://www.sahara.com.br>

5 NORMAS TÉCNICAS

As normas técnicas descritas a seguir são elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Para consultar os endereços dos Postos de Intermediação e adquirir os produtos da ABNT consulte o site: <<http://www.abnt.org.br/>>.

5.1 Caracterização do solo

Norma: **NBR 6457**

Título: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Data: 1986

Norma: **NBR 6459**

Título: Solo – determinação do limite de liquidez.

Data: 1984

Norma: **NBR 6508**

Título: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica.

Data: 1984

Norma: **NBR 7180**

Título: Solo – determinação do limite de plasticidade.

Data: 1984

Norma: **NBR 7181**

Título: Solo – análise granulométrica.

Data: 1984

5.2 Caracterização do solo-cimento

Norma: **NBR 12023**

Título: Solo-cimento – ensaio de compactação.

Data: 1992

Norma: **NBR 13554**

Título: Solo-cimento – ensaio de durabilidade por molhagem e secagem.

Data: 1996

5.3 Método de fabricação

Norma: **NBR 10832**

Título: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual.

Data: 1989

Norma: **NBR 10833**

Título: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica.

Data: 1989

Norma: **NBR 10834**

Título: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural.

Data: 1994

Norma: **NBR 10835**

Título: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – fôrma e dimensões.

Data: 1994

Norma: **NBR 10836**

Título: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – determinação da resistência à compressão e da absorção de água.

Data: 1994

Norma: **NBR 12253**

Título: Solo-cimento – dosagem para emprego como camada de pavimento.

Data: 1992

Conclusões e recomendações

O solo-cimento viabiliza a construção civil em locais distantes dos centros urbanos; diminui o custo do empreendimento, já que o solo do próprio local da obra pode ser empregado como material de construção; e possui grande apelo ecológico, porque evita a queima de madeira usada no método tradicional de fabricação de tijolos cerâmicos, substituindo essa queima pelo uso do cimento no papel de agregante.

O treinamento da mão-de-obra é muito importante nos sistemas que usam o solo-cimento. Cada sistema – tijolos ou blocos de solo-cimento, paredes maciças, pavimentos de solo-cimento, solo-cimento ensacado – tem suas próprias características, que devem ser ensinadas separadamente, caso a caso.

Ensaio laboratoriais e auxílio técnico podem ser obtidos na Associação Brasileira de Cimento Portland:

Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP
Avenida Torres de Oliveira, 76 Jaguaré
CEP: 05347-902 - São Paulo – SP
Fone: (11) 3760-5300 ou DDG: 0800-0555776
E-mail: dcc@abcp.org.br

Referências

ABIKO, A. K. **Tecnologias apropriadas**: tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento. 1980. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Básico sobre cimento** – aplicações – solo-cimento. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/solo_cimento.shtml>. Acesso em: 13 jul. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <<http://www.abntnet.com.br>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

BANET. **Solo-cimento**. Disponível em: <http://www.banet.com.br/construcoes/materiais/solo_cimento/solo_cimento.htm>. Acesso em: 17 ago. 2006.

HABITAR – Tecnologia das Habitações – Sistemas Construtivos – Cimento Portland/Solo-cimento. Disponível em: <<http://www.arg.ufmg.br/habitar/sis4.html>>. Acesso em: 13 jul. 2006.

PARANÁ. Secretaria da Administração. **Projeto Mutirão “Solo-Cimento”**. Curitiba, 1984. 57 p.

PIRES, I. B. A. **A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de**

habitações populares. 2004. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Salvador, Salvador, 2004. Disponível em: <<http://www.unifacs.br/graduacao/cursos/engcivil/TFG/TFG2004/2004%20-%20Ilma%20Bernadette%20A%20Pires.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2006.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Como avaliar a dosagem de sílica no solo para a produção de solo-cimento?** Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br>>. Acesso em: 14 ago. 2006.

TÉCNICA do solo-cimento. Disponível em: <<http://inventabrasilnet.t5.com.br/solocim.htm>>. Acesso em: 13 jul. 2006.

THOMAZ, C. A. **Paredes monolíticas de solo-cimento:** Hospital Adriano Jorge, Manaus, 1950-1976. 3. ed. São Paulo: ABCP, 1979. 55p.

Anexos

Anexo 1 – Como construir com tijolos de solo-cimento

As figuras a seguir apresentam algumas formas de se construir com os tijolos de solo-cimento.

- Alicerce/fundação



Figura 1 – Alicerce/fundação
Fonte: TIJOL-ECO

- Colunas



Figura 2 – Colunas
Fonte: TIJOL-ECO

- Cintamento da construção

O cintamento é feito utilizando-se o tijolo tipo canaleta e uma barra de ferro 5/16" ou 3/8", cheia com concreto. Na junção com os cantos é feita uma armação com ferro.



Figura 3 – Cintamento da construção
Fonte: TIJOL-ECO

- Entradas elétricas e hidráulicas



Figura 4 – Entradas elétricas e hidráulicas
Fonte: TIJOL-ECO

TIJOL-ECO. **Dicas para construir.** Disponível em: <<http://www.tijol-eco.com.br/dicas.html>>. Acesso em: 17 ago. 2006.

Nome do técnico responsável

Marcelo Shiniti Uchimura

Nome da Instituição do SBRT responsável

Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR

Data de finalização

20 nov. 2006