

TIJOLO SOLO-CAL UMA OPÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

* Aldo de Almeida Oliveira
** Flávio Augusto Picchi
*** Maria Alba Cincotto
**** José Eptácio Passos Guimarães

São resumidos os resultados das experiências realizadas com o objetivo de relacionar a resistência à compressão dos tijolos com as variáveis: preparo do solo, pressão de compactação do tijolo, teor de umidade na moldagem, teor e composição da cal (cálcica ou dolomítica) e tipo de cura (térmica, úmida, ambiente e em estufa solar). Outras propriedades estudadas: variação dimensional, absorção de água, durabilidade e comportamento quanto ao assentamento e ao revestimento. É apresentada uma estimativa de custo de fabricação do tijolo.

1. INTRODUÇÃO

A divulgação de resultados do emprego solo-cal na produção de componentes, pela Índia, em 1972, e Dinamarca, em 1978, motivou a ABPC a incluir entre as suas atividades, na área de estabilização de solos¹, estudos sobre a produção

manual de tijolos, destinados a habitações de interesse social e a projetos de autoconstrução. Incentivaram a dinamização dessa idéia parâmetros tais como a carência de materiais de construção em regiões distantes de grandes centros comerciais, a necessidade de grandes assentamentos urbanos em regiões de difícil acesso e a disponibilidade de solo argiloso em todo o país.

* Eng. Civil da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (NUTEC) Ceará e Prof. do Depto. de Engenharia Civil da UNIFOR.

** Engo. Civil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - São Paulo.

*** Química do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) - São Paulo.

**** Engo. de Minas da Associação Brasileira dos Produtores de Cal. (ABPC) - São Paulo.

As primeiras experiências práticas lideradas pela ABPC, foram relatadas em publicações anteriores²⁻³. A experiência mais recente é uma casa em Campo Limpo - São Paulo - SP. Todas elas estão sendo observadas apresentando boa durabilidade, sem qualquer manifestação patológica; a primeira delas conta já com sete anos. Os aspectos técnicos da produção de tijolos em prensa manual foram estudados pelo NUTEC* e pelo IPT***, tendo o NUTEC realizado também experiências práticas, que podem ser visualizadas nas fotografias apresentadas no final deste trabalho.

O presente trabalho reúne os dados sobre a produção de solo-cal, comparando as características dos tijolos produzidos pelo IPT⁴ e pelo NUTEC em condições de cura diferentes, com solo de regiões típicas do país.

2. MATERIAIS

2.1. Solos

2.1.1. Procedência

1. Estrada Fortaleza - Maranguape, a 20km do Campus do Pici.
 8. Estrada Fortaleza - Maranguape, a 18km do Campus do Pici.
 12. Jazida a 2km da BR - 020, ao lado do conjunto habitacional Nova Metrópole, no Município de Caucaia, CE.
- TP₂ Fazenda Água Santa, Município de Piracicaba. Amostra coletada em um dos pontos de uma toposequência em estudo.

2.1.2. Caracterização dos solos

As propriedades geotécnicas dos solos foram determinadas segundo os métodos normalizados seguintes, constando os resultados da Tabela 1.

- MB - 30 - Determinação do limite de liquidez dos solos;
- MB - 31 - Determinação do limite de plasticidade dos solos;
- MB - 32 - Análise granulométrica de solos;
- NBR 7182 (MB - 33) - Ensaio normal de compactação de solo.

A composição da fração argila do solo foi determinada por difratometria de raios-X, análise térmica diferencial e análise química.

2.2. Cal hidratada

As cales cálcicas e dolomíticas empregadas são puras, conforme teor de óxidos totais, na base de não voláteis, constantes da Tabela 2, determinados segundo método da Norma MB - 342 - "Análise química de cal virgem e de cal hidratada para argamassas". Constam também dessa tabela os resultados da determinação da finura, segundo método CE - 18:05.11-001, da ABNT.

3. MOLDAGEM DOS TIJOLOS

Estão resumidos nos subitens seguintes os resultados das experiências realizadas com o objetivo de relacionar a resistência à compressão dos tijolos com as variáveis do processo de produção.

3.1. Influência do preparo do solo

Tem sido adotada a prática de secagem do solo à sombra, apiloamento para desagregação dos torrões e peneiramento em malha de abertura de 4,8mm (ABNT no. 4), popularmente conhecida como peneira de feijão.

O uso de peneiras mais finas dificulta e prolonga demasiadamente a etapa de preparo do solo. Em relação à amostra não peneirada, o NUTEC encontrou resistências 10 por cento, 20 por cento e 2 por cento superiores, para amostras passadas, respectivamente, em peneiras de abertura de 3,4mm, 2,0mm e 1,4mm (ABNT nos. 8, 10 e 14) valores que não revelam vantagem significativa. A prática mostrou ser mais importante a perfeita homogeneização da mistura solo-cal.

3.2. Influência da pressão de compactação

Corpos-de-prova moldados em laboratório, pelo NUTEC, mostraram crescimento de resistência à compressão com aumento da pressão de compactação, chegando a um acréscimo de 35 por cento para uma pressão quadruplicada (figura 1). A umidade foi mantida constante, e, certamente o acréscimo seria maior para a umidade ótima. Os resultados ressaltam que prensas de maior potência permitem a produção de tijolos de qualidade ainda superior aos obtidos nestes estudos, nos quais se empregou prensa manual, de pressão de compactação estimada em 4kgf/cm² (modelo MRC - 1 fabricada por TECMOR).

3.3. Influência do teor de umidade

A resistência à compressão e outras propriedades do tijolo de solo estabilizado são influenciadas favoravelmente por massa específica maior. Assim, a produção dos tijolos foi precedida de exercícios para otimização das condições de moldagem, em laboratório, segundo a Norma MB - 33, com equipamento reduzido⁵ e com prensa manual.

Conforme ilustrado na figura 2, as curvas de compactação obtidas com o solo TP₂, em prensa manual, com 4 por cento e 10 por cento de cal dolomítica, encontram-se à direita e abaixo das que foram determinadas conforme o método da MB - 33, demonstrando que a energia de compactação conseguida com a prensa manual empregada é menor que a energia normal. Em relação aos valores obtidos com energia normal, estes resultados de massa específica máxima representam graus de compactação iguais a 94,8% e 95,7%, e umidades ótimas 3,7% e 2,5%, maiores do que as obtidas com a energia normal. Os resultados obtidos com a cal cálcica são semelhantes, adotando-se o mesmo valor de umidade para cada solo moldado com ambas as cales.

A influência da umidade na resistência à compressão dos tijolos pode ser vista na figura 3, para 7, 14 e 28 dias de cura, moldados com o teor ótimo de cal, de 6 por cento, determinado previamente (solo 1, cal 4, cura ao sol com cobertura de plástico preto).

Estes dados indicaram que é possível crescer a resistência mecânica do tijolo moldado em prensa manual, com teores acima da ótima. Assim, foi considerado de interesse prático determinar-se em que faixa de umidade os tijolos podem ser considerados de boa qualidade, não influenciados pela mão-de-obra não especializada.

Na série seguinte moldada, os tijolos foram separados em três classes, a saber:

- 1 – tijolos secos, de compactação mais difícil que o normal, com desagregação nas operações de desmoldagem e transporte para o local de cura.
- 2 – tijolos com boa compactação, coesão, facilidade de desmoldagem e transporte para o local de cura.
- 3 – tijolos muito úmidos, sem compactação, difíceis de serem desmoldados, por aderência ao molde; maior facilidade de deformação na desmoldagem e transporte para o local de cura.

Os tijolos foram moldados com 6, 8, 10 e 12 por cento de cal, estando na figura 4 ilustrados os resultados obtidos com 8 por cento. Para todas as misturas foi possível concluir que:

a) dentro de uma faixa de variação da umidade, de 4 por cento a 6 por cento, variação que depende do teor de cal, os melhores resultados são conseguidos com teores maiores de umidade, acima da ótima;

b) o valor máximo da resistência à compressão pode chegar ao dobro do valor mínimo, sendo tanto menor a diferença entre os valores máximo e mínimo quanto maior o teor de cal;

c) teores inadequados de umidade, abaixo ou acima desta faixa são facilmente identificados pelo operador da máquina, o qual poderá descartar o tijolo, desfazendo-o para reuso na amassada seguinte.

3.4. Influência do teor de cal

As experiências realizadas mostram que para cada tipo de solo há um teor ótimo de cal ao qual corresponde uma resistência à compressão máxima. As figuras 5 e 6 ilustram resultados obtidos com solos dos Estados de São Paulo e do Ceará, respectivamente. As calcs cálcicas (C) apresentam resultados superiores à cal dolomítica (D), relação observável na figura 5.

4. CURA DOS TIJOLOS

As figuras 7 e 8 ilustram o efeito de diferentes tipos de cura na resistência à compressão dos tijolos, ressaltando a influência da temperatura e da umidade, parâmetros que influenciam as reações entre constituintes do solo e a cal. Nos ensaios realizados pelo IPT, os tijolos foram mantidos em cura até a data de preparo dos corpos-de-prova para ensaio, enquanto que, no NUTEC, os tijolos foram mantidos, em cada tipo de cura, por 2, 7 e 14 dias, respectivamente, para ensaios a 7, 14 e 28 dias; em seguida, foram mantidos à sombra, à temperatura ambiente, entre 25°C e 30°C. A estufa solar citada na figura 8 trata-se de uma estrutura em madeira com faces laterais e superior recobertas com plástico transparente, instalada ao ar livre. Dessa mesma figura pode-se deduzir que a temperatura tem influência maior, dado que as resistências à compressão cresceram na ordem: $2 > 3 = 4 > 1$.

Para experiências em campo, o NUTEC empregou também os seguintes tipos de cura:

- 1 – tijolos envoltos em plástico preto e expostos a céu aberto;
- 2 – tijolos cobertos com plástico preto, assentados sobre regos de água, em estufa solar;
- 3 – análoga ao tipo 2, substituindo o plástico preto por chapa de zinco, assentada diretamente sobre os tijolos;

- 4 – análoga ao tipo 3, com chapa de zinco pintada de preto na superfície superior, colocada a 9cm acima dos tijolos.

Os resultados ilustrados na figura 9 levam a concluir que é possível ser um tipo de cura mais adequado para um determinado teor de cal, fato que motiva um estudo mais detalhado. O efeito do tipo de cura no resultado da resistência à compressão para diferentes teores de cal é mais acentuado aos 28 dias, atenuando aos 63 dias. Para os teores de cal entre 6 por cento e 12 por cento, a cura 2 mostrou-se a mais eficiente, com resistência de 2,3MPa a 2,7MPa, mas, requer a construção da estufa. A cura 1, a de custo mais baixo, é a indicada; resistências obtidas, entre 1,5MPa e 1,8MPa, podem ser consideradas bons resultados.

5. CARACTERÍSTICAS DOS TIJOLOS

A resistência à compressão dos tijolos foi explorada em diferentes experimentos. Identificadas as condições de moldagem e o teor de cal que resultaram nos melhores resultados de resistência, foi produzida uma série de tijolos para avaliação das propriedades: absorção de água, variação dimensional e durabilidade.

5.1. Resistência à compressão

Todos os ensaios foram realizados segundo a NBR 8492-“Tijolo maciço de solo-cimento - método de ensaio”.

Ficou evidente, das experiências realizadas em laboratório e em campo, com pelo menos duas dezenas de tipos de solo, que a umidade de moldagem e a cura desempenham papel relevante na resistência à compressão dos tijolos e que a cal cálcica apresenta resultados superiores aos da cal dolomítica.

O tipo de solo desempenha papel igualmente importante. Cita-se, por exemplo, que os solos do Ceará apresentaram resistências acima de 2,0MPa aos 63 dias, enquanto para o solo de Piracicaba não se ultrapassou 1MPa até à idade de 300 dias. Estes valores certamente estão relacionados à porosidade do tijolo e aos produtos de reação formados, o que merece detalhamento em estudos futuros.

Embora os resultados indiquem que há sempre uma tendência ao crescimento da resistência com o tempo de cura, nem sempre se mede um crescimento em dois períodos consecutivos, variações que podem ser devidas ao próprio material.

A moldagem em campo não é tão cuidadosa, apresentando resultados inferiores aos observados em laboratório.

5.2. Absorção de água

O ensaio foi realizado segundo método da Norma NBR-8492 – “Tijolo maciço de solo-cimento”.

Os valores obtidos pelo IPT variaram entre 20,6 por cento e 25,6 por cento; de um modo geral diminui o teor de cal e com curas térmicas e úmida. Considera-se que estes resultados indiquem uma tendência porque pequenas variações de massa específica podem anular o efeito desses parâmetros nos valores da absorção de água dos tijolos.

Já os valores obtidos pelo NUTEC e ABPC não ultrapassaram os 20 por cento, coerente com as resistências mecânicas maiores.

5.3. Variação dimensional

Foi acompanhada até os 91 dias, sendo o valor de referência o obtido aos 7 dias; as medidas foram feitas em aparelho descrito na NBR - 8490 - "Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural - retração por secagem", calibrado com barra padrão de liga INVAR, de comprimento próximo ao do tijolo. Os tijolos curados ao ar apresentaram retração inferior a 0,02 por cento, valor bastante baixo, o qual permite prever um bom comportamento na alvenaria. Os curados em câmara úmida apresentaram expansão não superior a 0,15 por cento; acredita-se que este valor não comprometa a qualidade ou o emprego do tijolo, em virtude de ser pouco provável um período tão prolongado de contacto com a água.

5.4. Durabilidade

Foram seguidas as diretrizes do ME 26 - IPT/BNH - "Determinação de perda de massa por molhagem e secagem de tijolos de solo-cimento - método de ensaio". A perda de massa foi determinada após 4 escovadelas em cada uma das quatro faces do tijolo, após o término de 12 ciclos de molhagem e secagem e após cada ciclo.

Influem na perda de massa ao escovamento: teor e tipo de cal, tempo e tipo de cura. As curvas da figura 10, cura ambiente, indicam que o valor mais baixo corresponde ao teor ótimo de cal e à resistência à compressão mais elevada. Os resultados para as curas térmica (40°C) e úmida, 10 por cento de cal, solo TP₂, são ligeiramente superiores mas sempre abaixo de 5 por cento.

Foi observado também que os tijolos moldados com o teor ótimo de cal mostram-se estáveis a ciclos de molhagem e secagem. Em quase todas as situações mostraram um pequeno ganho de resistência atribuível à influência favorável da umidade na cura.

Os tijolos expostos à chuva apresentam-se corroidos, perdendo cantos e arestas ao longo do tempo, mas sem qualquer alteração quando pintados com cal. Na alvenaria a ação da chuva não é tão drástica, pela proteção oferecida pelo beiral, como também pelo escoamento laminar.

6. ADERÊNCIA ARGAMASSA/TIJOLO

A prática tem mostrado que as argamassas de assentamento cal: areia apresentam bom desempenho.

A resistência de aderência de argamassas de revestimento foi determinada por ensaio de tração de uma pastilha colada à superfície revestida. Foram comparados os resultados de argamassas aplicadas ao tijolo tal qual, ao tijolo com a superfície a revestir riscada por sulcos de 1mm e tijolos cerâmicos chapiscados com argamassa cimento: areia.

O riscamento da superfície do tijolo não melhora significativamente a aderência da argamassa cal: areia fina, 1:3 em volume; aplicada ao tijolo solo-cal tem resistência de aderência inferior à do tijolo chapiscado, mas, argamassa mista cimento: cal: areia fina, 1:2:10, em volume, tem resistência de aderência próxima à do tijolo cerâmico, aos 7, 28 e 63 dias.

7. CUSTO DE FABRICAÇÃO

Pelo cálculos efetuados no NUTEC, o custo de um milheiro de tijolos, com teor de 6 por cento de cal, e a jazida de solo distante 10km do local de produção (e consumo), é de Cz\$ 306,00, preços de agosto de 1986. Neste custo, estão incluídos o gasto com a mão-de-obra para preparação dos tijolos (Cz\$ 180,90), o preço da cal consumida (Cz\$ 40,00) e as despesas de escavação, carga e transporte do solo (Cz\$ 85,00). Para o cálculo do custo de mão-de-obra foi constatado que uma equipe, de duas pessoas, produz um milheiro de tijolos em 10 horas de trabalho com uma prensa manual.

Para a cidade de São Paulo, a ABPC, na sua experiência no bairro de Campo Limpo, o milheiro de tijolos, com teor de 9 por cento de cal, tinha o seu custo em torno de 60 por cento do preço do tijolo comum, posto depósito.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

Características	Tipo de solo	Tipo de solo			
		1	8	12	TP ₂
Composição granulométrica (%)	Areia	35	35	37	24
	Silte	14	11	8	19
	Argila	35	50	47	57
Limite de liquidez (%)		28	30	28	46
Limite de plasticidade (%)		19	21	20	26
Composição da fração argila	Caulinita	xxx	xxx	—	xxx
	ilita	x	—	—	—
	quartzo	x	—	—	—
	Óxidos e hidróxidos de ferro	—	—	—	xx
	Gibbsita	—	—	—	x
	Mica	—	—	—	x

xxx, xx, x = proporção relativa

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DAS CALES

Características	Designação das amostras				
	NUTEC			IPT	
	1	4	7	C	D
Óxidos totais na base de não voláteis, %	92,0	94,0	95,9	95,5	98,0
Óxido de cálcio (CaO), %	85,6	91,9	94,2	92,6	58,3
Óxido de magnésio (MgO), %	6,4	2,1	1,70	2,9	39,7
Finura:					
- resíduo na peneira no. 30(0,600mm), %	0,6	0,3	0,5	0	3
- resíduo na peneira no. 200(0,075mm), %	2,0	2,0	2,0	3	22

Foto 1 - Casa no Parque São Miguel em Fortaleza - Ce.



Foto 2 - Guarita construída em tijolos solo-cal no Campus Universitário do Pici - Fortaleza.



Foto 3 - Casa em Limoeiro do Norte - Ce.



Fig. 1 - Valores da resistência à compressão obtidos para pressões de compactação crescentes. Solo: 1. Cal: 1. Umidade de compactação: 22 por cento. Teor de Cal: 6 por cento. Cura ambiente: 25°C (NUTEC).

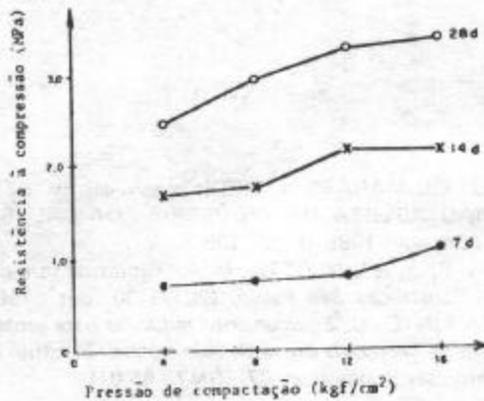


Figura 2 - Curvas de compactação do solo TP₂ com adição de cal dolomítica: D (IPT).

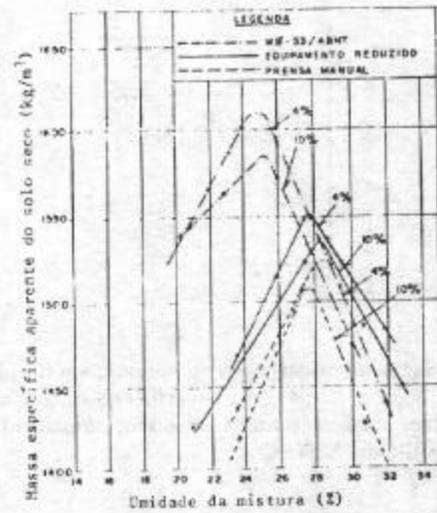


Fig. 3 - Variação da resistência à compressão dos tijolos em função da umidade de mistura. Solo: 1. Cal: 4. Teor de cal: 6 por cento. Cura ao sol com cobertura de plástico preto, 7 dias (NUTEC).

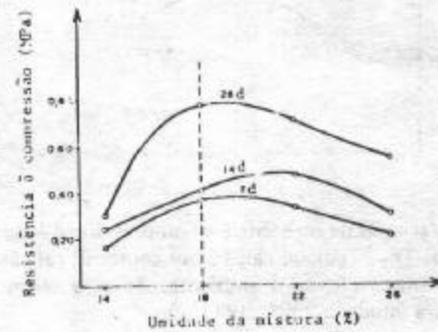


Fig. 4 - Variação da resistência à compressão do tijolo em função da umidade da mistura. Solo: 8. Cal: 4. Teor de cal: 10 por cento. Idade: 28 dias. Cura por 7 dias em estufa solar, com chapa de zinco pintada de preto na face superior, diretamente sobreposta aos tijolos. 1) tijolos secos, desagregáveis. 2) tijolos bem compactados. 3) tijolos deformáveis. (NUTEC).

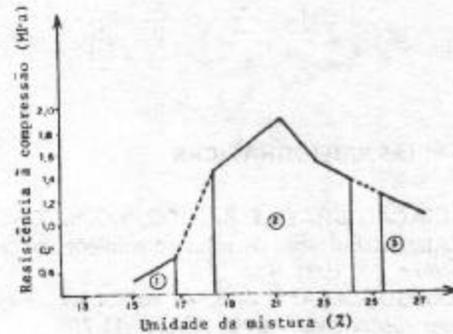


Figura 5 - Variação da resistência à compressão em função do teor de cal. Cura: ambiente. Solo: TP₂. C: cal cálcica. D: cal dolomítica (IPT).

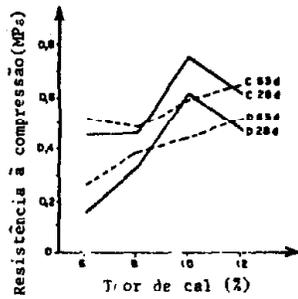


Fig. 6 - Variação da resistência à compressão em função do teor de cal. Solo: 8. Cal: 4. Cura em estufa solar, com chapa de Zinco, face superior pintada em preto, diretamente sobreposta aos tijolos (NUTEC).

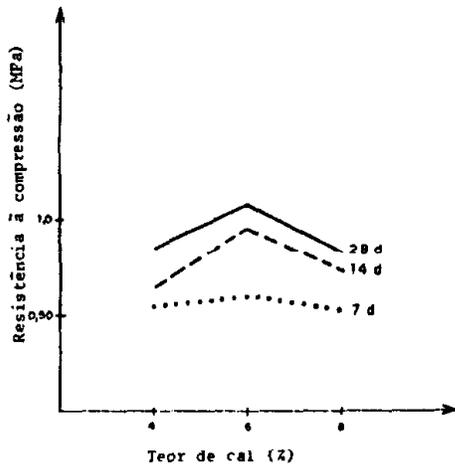


Figura 7 - Variação da resistência à compressão ao longo do tempo. Solo: TP₂. Teor de cal: 10 por cento. C: cal cálcica. D: cal dolomítica. A: cura ambiente. T: cura térmica, a 40°C. U: cura úmida, a 23°C (IPT).

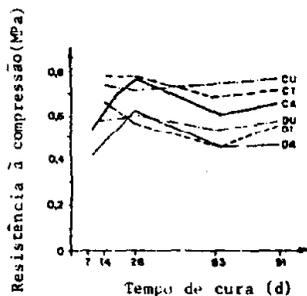


Fig. 8 - Influência do tipo de cura na resistência à compressão dos tijolos. 1) estufa elétrica, 60°C; 2) ao sol, com cobertura de plástico preto; 3) estufa solar, molhagem diária; 4) estufa solar assentada sobre regos de água. Solo: 8. Cal: 4 (NUTEC).

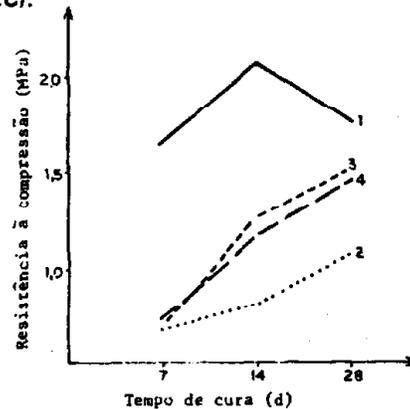


Fig. 9 - Influência do tipo de cura na resistência à compressão dos tijolos. Solo: 12. Cal: 7. Idade: 28 dias. (NUTEC).

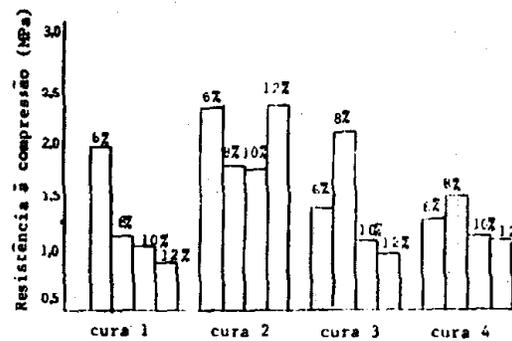
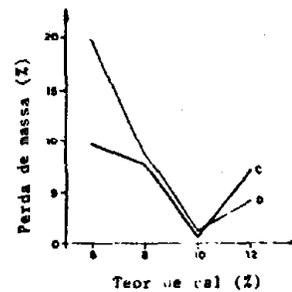


Fig. 10 - Variação da perda de massa dos tijolos após ciclos de molhagem e secagem, escovação somente ao final dos ciclos. Cura: ambiente. Solo: TP₂. Idade: 28 dias. C: cal cálcica. D: cal dolomítica (IPT).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. Estabilização de solos com adições de cal. *Boletim n. 13*, 1981. 95p.
- 2) PASSOS GUIMARÃES, J. E. *As aplicações da cal nas construções civis*. ABPC, 1985. p. 11-70.

- 3) PASSOS GUIMARÃES, J. E. Tijolo solo-cal. In: REUNIÃO ABERTA DA INDÚSTRIA DA CAL, 5a., 23-24, out., 1985. p. 121-130.
- 4) PICCHI, F. A. & CINCOTTO, M. A. Tijolos de solo-cal. *A Construção São Paulo*, (2017): 30, out., 1986.
- 5) SOUZA PINTO, C. *Equipamento reduzido para moldagem de corpos-de-prova de solo-aditivo*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 87. (GMT - 65.01).