

# **CORRELAÇÕES ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA MATÉRIA PRIMA DE FABRICAÇÃO E A RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO TIJOLO MACIÇO \***

**\*\* Antonio Cloves Fonseca Homem**

**\*\* José Lucíndio de Oliveira**

**\*\* Eduardo José M. del Peloso**

**\*\*\* Liovando Marciano da Costa**

**\*\*\*\* Alcides Reis Condé**

*Neste trabalho foram realizadas análises físico-químicas, moldagem, secagem e queima dos tijolos maciços, com matéria-prima proveniente de diferentes localidades, tendo em vista os seguintes objetivos: Determinar as correlações das propriedades físico-químicas com a resistência à compressão do tijolo; selecionar as propriedades que servem de indicativo para escolha de matéria-prima, destinadas à fabricação de tijolos; desenvolver modelo matemático que possa estimar a resistência à compressão do tijolo.*

## **1 – INTRODUÇÃO**

A indústria de tijolos é uma das mais antigas do mundo, graças à facilidade de processamento nessas indústrias e a disponibilidade de matéria-prima. Os produtos cerâmicos são conceituados como pedras artificiais obtidos pela moldagem, secagem e cozedura de argila, ou misturas que contêm argilas.

O tijolo maciço, denominado tijolo comum ou tijolo de alvenaria, é fabricado, geralmente, por processos os mais econômicos possíveis, variando desde a indústria simples, em escala artesanal, nas próprias comunidades, até à industrialização moderna.

Nas construções de ocupação mais horizontal, tais como: casas e construções rurais, o uso do tijolo maciço, tanto como elemento de estrutural como de vedação, tem preferência, porque oferece ótimas qualidades construtivas, conforto ambiental, baixo custo e disponibilidade no local.

A resistência mecânica de tijolos e outros produtos cerâmicos está correlacionada com as propriedades físico-químicas da matéria-prima de fabricação e poucas pesquisas foram desenvolvidas nesse sentido.

Neste trabalho foram realizadas análises físico-químicas, moldagem, secagem e queima dos tijolos maciços, com matéria-prima proveniente de diferentes localidades, tendo em vista os seguintes objetivos:

– determinar as correlações das propriedades físico-químicas com a resistência à compressão do tijolo maciço tipo 2, fabricado com matéria-prima usada nas olarias da região de Viçosa, MG e sete municípios vizinhos;

– selecionar as propriedades que servem de indicativo para escolha de matéria-prima, destinadas à fabricação de tijolos maciços, mediante a análise de laboratório, com base nas correlações das propriedades físico-químicas com a resistência à compressão;

– desenvolver modelo matemático que possa estimar a resistência à compressão do tijolo maciço, em função da variação de propriedades físico-químicas da matéria-prima de fabricação.

## **2 – MATERIAL E MÉTODOS**

As amostras foram retiradas em olarias estabelecidas na região de Viçosa, MG. Compreendendo os

---

\* Parte da tese do primeiro autor, para obtenção do título de M. S. em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, em 13 de Julho de 1984.

\*\* Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, 36570, Viçosa, MG.

\*\*\* Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, 36570, Viçosa, MG.

\*\*\*\* Departamento de Matemática da Universidade Federal de Viçosa, 36.570 - Viçosa - MG.

municípios de: Araponga, Ervália, Porto Firme, Paula Cândido, Guiricema, Viçosa, Jequeri e Teixeiras.

Para as determinações físico-químicas e moldagem de tijolos para corpos de prova, foram retiradas amostras no volume de 30 litros de matéria-prima em 16 olarias, sendo 2 por município.

As análises granulométricas: areia grossa, areia fina, silte e argila, foram efetuadas pelo método da pipeta, procedendo conforme metodologia descrita por MOURA FILHO (9).

As percentagens de umidade da massa de moldagem dos tijolos para corpo de prova foram determinados pelo método da estufa, nas temperaturas de 105 a 110°C, durante 48 horas, com pesagens antes de secar na estufa e depois de sua retirada, expressas em percentagem.

O carbono orgânico foi obtido pelo método de Walkley-Black, conforme ALLISON (1).

A absorção de umidade dos tijolos é expressa em percentagem de umidade e absorção de água determinada pela imersão durante 24 horas com pesagens antes e depois da imersão, após escorrer durante 5 minutos, a água superficial.

Os volumes dos tijolos crus e tijolos queimados foram determinados através de medições diretas das três dimensões dos tijolos, por intermédio de paquímetro.

A argila natural foi determinada pelo método da pepita, utilizando-se a água como dispersante, com repouso de 24 horas, procedendo-se em seguida, conforme metodologia descrita por MOURA FILHO (9).

As análises químicas, foram executadas por intermédio da análise total, pelo ataque sulfúrico, as determinações:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

As amostras foram amassadas manualmente e moldadas em forma de madeira, com dimensões apropriadas para obter o tijolo tipo 2, conforme EB19.

A secagem dos tijolos foi realizada ao ar na sombra durante 30 dias e a queima foi feita em forno elétrico com controle automático de temperatura, com escala 0-1200°C. O tempo de queima foi de 27 horas com temperatura próxima de 900°C.

No preparo dos corpos de prova usou-se 10 tijolos de cada amostra, para o teste de determinação da resistência a compressão, preparados e testados conforme o MB-52, da ABNT. Os testes de resistência à compressão dos corpos de prova, foram realizados utilizando-se a Máquina Universal de Ensaios.

Os dados de resistência à compressão e as propriedades físico-químicas foram tabeladas. Com estes resultados foram realizadas as seguintes análises:

- 1) coeficiente de correlação de Pearson entre todas as variáveis;
- 2) de posse das variáveis que melhor se correlacionaram com a resistência, ajustaram-se regressões múltiplas em função de algumas relações com essas variáveis.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises revelaram uma grande variação dos níveis constituintes das resistências

observadas com os dados de análise da matéria-prima de fabricação de tijolos maciços em cada amostra, conforme Quadro 1. Analisando o resultado das correlações das resistências dos tijolos com as propriedades físico-químicas, Quadro 2, verifica-se que houve correlação ao nível de 5% para silte, argila natural, equivalente de umidade de volume cru e volume queimado; e correlação ao nível de 10% para areia grossa e óxido de silício.

A resistência à compressão dos tijolos correlacionou positivamente com silte, carbono orgânico, argila natural, equivalente de umidade, óxido de silício e umidade de moldagem. Sendo correlacionado negativamente, com areia grossa, óxido de ferro, óxido de alumínio, absorção de umidade dos tijolos queimados, volume cru do tijolo e volume queimado do tijolo. Verificando as correlações com nível de significância abaixo de 5%, Quadro 2, foram feitas as seguintes observações:

1) A umidade de moldagem correlacionou positivamente com silte, argila, equivalente de umidade, óxido de alumínio e óxido de silício. E negativamente com areia grossa, areia fina e carbono orgânico;

2) A absorção de umidade dos tijolos queimados correlaciona positivamente com silte, argila, equivalente de umidade, óxido de alumínio e óxido de silício. E negativamente com areia grossa, areia fina, carbono orgânico e argila natural;

3) Pelo Quadro 3, foram relacionadas as variáveis, tais como: AGSIAN, SIANEM, SIANVC, ANEMAG, ANEMVC, AGVCSI, AGVCAN e AGVEEM. Com as quais agruparam-se duas variáveis de correlações baixas entre si; porém, correlacionadas a nível de 5% com a resistência, obtendo-se o seguinte modelo matemático.

$$RT = 5,82 - 3,0061 \times AG \times VC/EM \times 0,0062 \times SI \times AN/VC.$$
 Assim, tem-se que, com uma análise granulométrica e volume do tijolo em estado cru de uma determinada matéria-prima de fabricação de tijolo maciço, pode-se estimar a sua resistência à compressão.

### 4 – RESUMO E CONCLUSÕES

As amostras de matéria-prima para essa pesquisa foram retiradas em olarias existentes no município de Viçosa, MG e nos municípios vizinhos: Araponga, Ervália, Porto Firme, Guiricema, Jequeri, Paula Cândido e Teixeiras. Foram retiradas duas amostras por município.

Parte das amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da UFV, para as análises físico-químicas. Outra parte foi usada para fabricação de tijolos do tipo 2, segundo a ABNT. Os tijolos foram queimados durante 27 horas na temperatura de 900°C.

Desses tijolos queimados, foram preparados segundo a ABNT, corpos de prova, e submetidos a testes de resistência à compressão conforme as normas técnicas.

Nas condições que esse trabalho foi realizado chegou-se às seguintes conclusões:

1) Os resultados das análises revelaram uma grande variação dos níveis dos constituintes da matéria-prima de fabricação de tijolo maciço:

2) A resistência à compressão dos tijolos correlacionou positivamente com silte, carbono orgânico, argila natural, equivalente de umidade, óxido de silício e umidade de moldagem. E correlacionou negativamente com areia grossa, areia fina, argila, óxido de fósforo, óxido de titânio, óxido de ferro, óxido de alumínio, absorção de umidade dos tijolos queimados, volume cru do tijolo e volume do tijolo queimado:

3) Os tijolos que apresentaram melhor resistência à compressão foram os provenientes de matéria-prima das localidades: Guiricema 1, Jequeri 1, conforme Quadro 1;

4) A equação que estima a resistência à compressão do tijolo maciço proveniente de uma determinada matéria-prima é a seguinte:

$$RT = 5,820 - 3,0061 \times AG \times Vc/EM + 0,0062 \times SI \times AN/Vc,$$

Onde RT é a resistência à compressão em Mpa  
AG é a percentagem de areia grossa da matéria-prima,  
VC é o volume do tijolo no estado cru em  $dm^3$  EM é o equivalente de umidade da matéria prima em percentagem, SI é a percentagem de silte da matéria-prima e AN é a percentagem de argila natural da matéria-prima.

### SUMMARY

Sixteen brick-yard from Viçosa micro-region were selected for bricks raw material samples. Part of the raw material were used for testing the compression strength and part for physical-chemical properties determination.

The compression and physical-chemical data show that the strength is directly propositional to silt, organic carbon, natural clay, equivalent humidity, silicon dioxide and inversaly propositional to coarse sand, raw volume, burned volume, fine sand, clay, iron dioxide, phosphorus, aluminum oxide, titanium dioxide, brick absorption and molding humidity.

The analysis of regression and correlaption from the results show that compression strength for bricks can be estimated by the equation:

$$RT = 5,820 - 3,0061 \times AG \times Vc/EM + 0,0062 \times SI \times AN/Vc,$$

Where: RT — is the compression strength, Mpa;  
AG — is the percentagem of coarse sand from the raw material;  
VC — is the raw volume  $dm^3$   
EM — is equivalent humidity;  
SI — is the percentagem silicon dioxide;  
AN — is the percentagem of natural clay.

### LISTA DE SÍMBOLOS

- AF — Areia fina, em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
AG — Areia grossa, em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
AL — Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ), em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
AN — Argila natural, em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
AR — Argila, em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
CO — Carbono orgânico, em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
EM — Equivalente umidade, em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
FE — Óxido de Ferro ( $Fe_2O_3$ ), em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
MPa — Abreviatura de Mega-Pascal.  
PO — Óxido de Fósforo ( $P_2O_5$ ), em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
RT — Resistência à compressão de tijolos maciços em MPa.  
SI — Silte, em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
SO — Óxido de Silício ( $SiO_2$ ), em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
TI — Óxido de Titânio ( $TiO_2$ ), em percentagem com relação ao peso de T.F.S.A.  
UM — Umidade de moldagem dos corpos de prova.  
VC — Volume dos tijolos secos crus,  $dm^3$ .  
VF — Volume interno da forma usada para moldar os tijolos,  $dm^3$ .  
VQ — Volume dos tijolos queimados,  $dm^3$ .

**QUADRO 1**  
**Resultado das Resistências e Propriedades Físico-Químicas entre as 16 Amostras de Matéria-Prima de Fabricação de Tijolos, com seus Respective Tijolos.**

Amostras		RT	AG	AF	SI	AR	CO	AN	EM	UM	AB	VC	VQ	PO	TO	FE	AL	SO
		MPa	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	dm <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup>	%	%	%	%
A1	1	3,177	9,0	28,0	24,0	39,0	0,49	0,41	27,2	49,2	28,5	1,32	1,31	0,10	0,06	9,3	21,8	18,50
A2	2	1,824	24,0	14,0	8,0	54,0	0,29	0,30	25,3	49,2	28,2	1,33	1,31	0,08	0,07	8,7	21,2	15,22
E1	3	8,335	8,0	8,0	27,0	57,0	0,72	0,62	46,1	73,1	33,7	1,10	1,10	0,13	0,08	6,2	27,1	28,50
E2	4	5,570	7,0	22,0	21,0	50,0	0,43	0,31	38,2	58,6	30,9	1,20	1,21	0,13	0,10	5,3	23,7	23,0
F1	5	5,923	3,0	18,0	36,0	43,0	0,62	0,36	40,0	73,5	35,1	1,12	1,11	0,07	0,08	7,3	26,6	25,50
F2	6	4,550	1,0	4,0	33,0	62,0	0,91	0,57	45,9	78,2	37,5	1,10	1,09	0,08	0,91	7,6	29,6	29,50
G1	7	8,051	6,0	34,0	31,0	29,0	5,43	21,11	28,0	44,3	19,7	1,30	1,29	0,09	0,08	8,3	15,5	20,00
G2	8	4,020	23,0	35,0	23,0	19,0	7,77	10,19	24,1	42,3	20,1	1,36	1,38	0,12	0,10	7,7	11,7	15,80
J1	9	9,090	17,0	14,0	32,0	37,0	1,55	22,24	34,7	54,8	25,4	1,20	1,17	0,08	0,92	7,2	19,2	22,10
J2	10	4,609	24,0	18,0	26,0	32,0	1,08	23,58	33,3	61,5	28,6	1,39	1,16	0,11	0,04	10,4	16,5	20,70
P1	11	4,060	11,0	8,0	32,0	49,0	0,35	0,36	40,0	61,2	32,7	1,17	1,17	0,09	1,00	6,0	26,2	25,80
P2	12	2,922	9,0	19,0	40,0	32,0	1,75	0,41	27,9	71,7	38,3	1,20	1,20	0,14	1,16	10,0	29,4	27,00
T1	13	5,629	15,0	20,0	24,0	41,0	0,48	0,41	34,8	63,0	25,8	1,18	1,18	0,10	1,34	11,9	19,2	22,80
T2	14	2,814	24,0	18,0	11,0	47,0	0,54	0,46	27,6	47,9	25,6	1,32	1,32	0,06	1,22	7,5	17,7	17,10
V1	15	6,060	3,0	12,0	29,0	56,0	0,35	0,36	42,7	75,5	33,7	1,07	1,06	0,12	1,18	13,2	26,7	27,20
V2	16	2,942	18,0	19,0	17,0	46,0	0,44	0,41	31,7	50,6	29,9	1,31	1,30	0,14	1,20	8,3	21,7	21,40

**QUADRO 2**  
**Resultados das Correlações de Pearson Entre as Propriedades Físico-Químicas e Resistência dos Tijolos, Sendo que os Primeiros Números Correspondem a Correlação e os Segundos o Nível de Significância.**

	RT	AG	AF	SI	AR	CO	AN	EM	PO	TI	FE	AL	SO
RT	1,000	-0,398	-0,051	0,462	-0,268	0,164	0,478	0,483	-0,024	-0,147	-0,158	-0,019	0,383
	0,001	0,063	0,42	0,036	0,461	0,271	0,030	0,029	0,464	0,293	0,279	0,471	0,072
UM	0,228	-0,644	-0,698	0,593	0,538	-0,477	-0,344	0,812	0,133	0,241	0,205	0,826	0,912
	0,198	0,004	0,001	0,008	0,017	0,031	0,096	0,001	0,311	0,184	0,223	0,001	0,001
AB	-0,148	-0,557	-0,710	0,429	0,601	-0,625	-0,562	0,626	0,200	0,235	0,045	0,952	0,789
	0,292	0,012	0,001	0,048	0,007	0,005	0,012	0,005	0,228	0,190	0,434	0,001	0,001
VC	-0,476	0,653	0,691	-0,607	-0,522	0,442	0,166	-0,914	-0,068	-0,204	-0,120	-0,707	-0,907
	0,031	0,003	0,001	0,006	0,019	0,043	0,268	0,001	0,400	0,224	0,328	0,001	0,001
VQ	-0,486	0,619	0,714	-0,597	-0,522	0,480	0,097	-0,895	-0,021	-0,194	-0,149	-0,698	-0,880
	0,028	0,005	0,001	0,007	0,019	0,030	0,360	0,001	0,468	0,235	0,291	0,002	0,001

**QUADRO 3**  
**Matriz de Correlações entre as Variáveis Múltiplas**

	AGSIAN	SIANEM	SIANVC	ANEMAG	ANEMVC	AGVCSI	AGVCAN	AGVCEM	RT
AGSIAN	1,000	-0,6715 0,002	-0,6563 0,003	-0,6418 0,004	-0,6477 0,003	0,2229 0,203	0,6782 0,002	0,0630 0,408	-0,5263 0,018
SIANEM	-0,0653 0,404	1,000	0,9843 0,001	0,8698 0,001	0,9545 0,001	-0,1013 0,354	-0,4968 0,025	0,1604 0,276	0,5181 0,020
SIANVC	-0,6563 0,003	0,9843 0,001	1,000	0,8166 0,001	0,9885 0,001	-0,1022 0,353	-0,4886 0,027	0,1414 0,301	0,5325 0,017
ANEMAG	-0,6418 0,004	0,8698 0,001	0,8166 0,001	1,000	0,7395 0,001	-0,2307 0,195	-0,4846 0,029	-0,1313 0,314	0,5695 0,012
ANEMVC	-0,6477 0,003	0,9545 0,001	0,9885 0,001	0,7395 0,001	1,000	-0,0780 0,387	-0,4788 0,030	0,1734 0,260	0,4864 0,028
AGVCSI	0,2229 0,203	-0,1013 0,354	-0,1022 0,353	-0,2307 0,195	-0,0780 0,387	1,000	0,8233 0,001	0,8530 0,001	-0,5617 0,012
AGVCAN	0,6782 0,002	-0,4968 0,025	-0,4886 0,027	-0,4846 0,029	-0,4788 0,030	0,8233 0,001	1,000	0,5289 0,018	-0,6479 0,003
AGVCEM	0,0630 0,4080	0,160 0,276	0,1414 0,301	0,1313 0,314	0,1734 0,260	0,8530 0,001	0,5289 0,018	1,000	-0,5054 0,023

#### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. ALLISON, L. E. Wakley — Black method. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965 p. 1372-1376. (Agronomy Series nº 9).
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolos maciços de barro cozido para alvenaria — Especificação Brasileira**. ABNT, 1943. p. 6-7 (EB-19).
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio à compressão de tijolos maciços de barro cozido para alvenaria — Método brasileiro**. ABNT 1945. p. 1-2 (MB-52).
4. BAUER, L.A.B. **Materials de Construção**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A. 1979. 529p.
5. COSTA, L.M. **Caracterização das propriedades físicas e químicas dos solos de terraços fluviais, na região de Viçosa e sua interpretação para uso agrícola**. Viçosa, U.F.V. 1973. 55p. (Tese de MS).
6. FERNANDES, B. **Retenção e movimento de água no solo**. Viçosa, U.F.V. 1976. 49p. (Tese de MS).
7. GRIMSHAW, R. W. **The chemistry and physics of clays**. New York, Wiley-Interscience, 1971. 1024p.
8. MINETTE, E. **Quantificação geomecânica e de alterabilidade de um diorito**. Rio de Janeiro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 1982. 234p. (Tese de Mestrado).
9. MOURA FILHO, W. **Métodos de Campos e Laboratório; levantamento e física do solo**. Viçosa, UFV, 1971. 26p.
10. PETRUCCI, E.G.R. **Materials de Construção**. Porto Alegre, Editora Globo, 1975. 435p.
11. SANTOS, P. de S. **Situação atual dos estudos sobre argilas e caulins no Brasil**. In: Santos, P. de S., Ed. **Anuário Brasileiro de Cerâmica** 1980. São Paulo, Associação Brasileira de Cerâmica. 1980. p. 20-49.
12. VETTORI, L. **Métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1966. 20p.
13. VLACK, L.H.V. **Propriedades dos materiais cerâmicos**. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 1973. 318p.