

Estudios sobre cemento de escoria de alto forno em painéis para habitação de baixo custo

*Carlos E. de Siqueira Tango. Dr. E., Ms.E., Eng.,
Ernan Silva. Eng.
Vanderley Moacyr John. Ms. E., Eng.,
Investigadores del Instituto de Pesquisas
Tecnológicas-IPT-Sao Paulo*

RESUMEN

Se presentan los principales resultados de investigación del "Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (Instituto de Investigaciones Tecnológicas de San Pablo), iniciadas en 1982, en el sentido de desarrollar un cemento de bajo costo a base de escoria granulada de alto horno.

Las activaciones investigadas fueron la sódica, la cálcica, la sodo-sulfática y la sulfato-cálcica; los resultados con activación cálcica y sulfato-cálcica son los más prometedores, y una aplicación práctica de la activación sulfato-cálcica fue el uso de aglomerante alternativo de escoria para el desarrollo de un compuesto reforzado con fibras de coco, debido a la baja alcalinidad requerida. Un prototipo de vivienda está desde 1989 en observación con desempeño satisfactorio.

RESUMO

Apresentam-se os resultados principais de pesquisas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., iniciadas em 1982, no sentido de se desenvolver um cimento de baixo custo à base de escória granulada de alto forno.

As ativações pesquisadas foram a sódica, a cálcica, a sodo-sulfática e a sulfato-cálcica; os resultados com ativação cálcica e sulfato-cálcica são os mais promissores, e uma aplicação prática da ativação sulfato-cálcica foi o uso do aglomerante alternativo de escória para o desenvolvimento de um composto reforçado com fibras de coco, devido à baixa alcalinidade requerida. Um protótipo de moradia está desde 1989 em observação com desempenho satisfatório.

1. INTRODUÇÃO

A carência habitacional no Brasil e na América Latina é um fato inegável. Um cimento de baixo custo, baixo consumo energético e fabricado a partir de um sub-produto industrial sem dúvida colaboraria para diminuir esse problema.

Em 1982 o atual Agrupamento de Materiais de Construção Civil do IPT* iniciava pesquisas para desenvolvimento de um cimento alternativo nacional, de baixo custo, à base de escória de alto-forno. Patrocinados pelo próprio IPT, os primeiros resultados foram apresentados e publicados nos anais da "International Conference On Development of Low-Cost and Energy Saving Construction Materials and Applications", no Rio de Janeiro em 1984.

Desde então, os experimentos se ampliaram, inclusive com o patrocínio da COSIPA*, ou por iniciativa do IPT com colaboração do CNPq e do Governo Francês, realizando-se mais dois estudos de ativação de escória de alto-forno: um com ativação cálcica e escória da COSIPA (1986), outro com ativação sulfato-cálcica e sodo-sulfática, com escória francesa, no laboratório do INSA* de Lyon (1988).

Paralelamente o IPT desenvolvia estudos de utilização de fibras vegetais desde 1987, aplicando o cimento alternativo de escória de alto-forno com ativação sodo-sulfática como ligante de baixa alcalinidade e não agressivo às fibras de coco. Estes estudos foram patrocinados pela Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, pelo International Development Research Centre do Canadá e pelo próprio IPT, culminando com a construção de um protótipo de moradia de baixo custo.

Este trabalho procura apresentar de forma sucinta as experiências realizadas e suas conclusões, que já permitem a passagem a uma fase de produção experimental de um Cimento Sem Clinquer.

* IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. - Brasil.

COSIPA, Companhia Siderúrgica Paulista - Brasil.

INSA - Institut National des Sciences Appliquées - França.

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil

IDRC - International Development Research Centre - Canadá.

2. ATIVAÇÃO CÁLCICA E SÓDICA

TESUKA, FLORINDO e SILVA ⁶ investigaram a ativação de uma escória da COSIPA com hidróxidos de cálcio e de sódio comerciais (cal hidratada e soda) em argamassas com areia normal brasileira e em pastas. As variáveis em estudo foram o tipo de ativador e a finura Blaine., afetando-se ensaios de início e fim de pega, expansibilidade, retração por secagem e resistência à compressão em corpos de prova de diâmetro 5 cm e altura 10cm, com consistência variável e relação água/cimento 0,48. As figuras 1 e 2 ilustram os resultados obtidos. Os teores de ativadores foram apenas os necessários para saturação de água de amassamento.

Observa-se, na figura 1, que a finura influenciou apenas o tempo de pega das pastas ativadas com cal, não havendo influência da finura no tempo de início de pega nas ativadas com soda. Enquanto a ativação com soda propiciou tempos de pega similares aos de cimentos portland comuns, a com cal acarretou tempos de início de pega muito longos.

Quanto à resistência à compressão (Fig. 2), observou-se que a ativação com soda propiciou resistências relativamente mais altas às primeiras idades, porém mais baixas às idades posteriores, tomando por base a ativação com cal. A finura influenciou marcadamente as resistências às idades até 91 dias. Os níveis de resistência atingidos permitem comparar os cimentos experimentais de finura 9.000 cm²/g a um cimento de classe da ordem de 25 MPa aos 28 dias de idade, porém com uma reserva de resistência considerável. Do ponto de vista de resistência à compressão, estes primeiros cimentos experimentais tiveram desempenho lento, requerendo períodos de cura da ordem de 90 dias para poderem ser comparados aos cimentos mais comuns no mercado, de Classe 32 MPa. Não se observou expansão nas "agulhas de Le Chatelier"; a retração por secagem observada nas argamassas foi maior que a que se observa em cimentos portland comuns, da ordem de 0,095% para ativação sódica e 0,125% para ativação cálcica (um cimento portland comum de referência apresentou retração da ordem de 0,050% nas mesmas condições).

SILVA, FLORINDO e ALMEIDA ⁴ levando em conta os experimentos acima, com o patrocínio da COSIPA, realizaram experimentos sobre a influência da quantidade de cal na ativação de escória da COSIPA. Desta feita, logo foi observado que a quantidade de cal acima da de saturação de água de amassamento era benéfica ao desenvolvimento das resistências iniciais. Assim, trabalhou-se com teores de cal hidratada comercial aumentando gradualmente de zero até 20% em relação à massa do aglomerante; a finura "Blaine" escolhida foi de 6.000 cm²/g.

Realizaram-se ensaios de tempo de início e fim de

Figura Nº 1

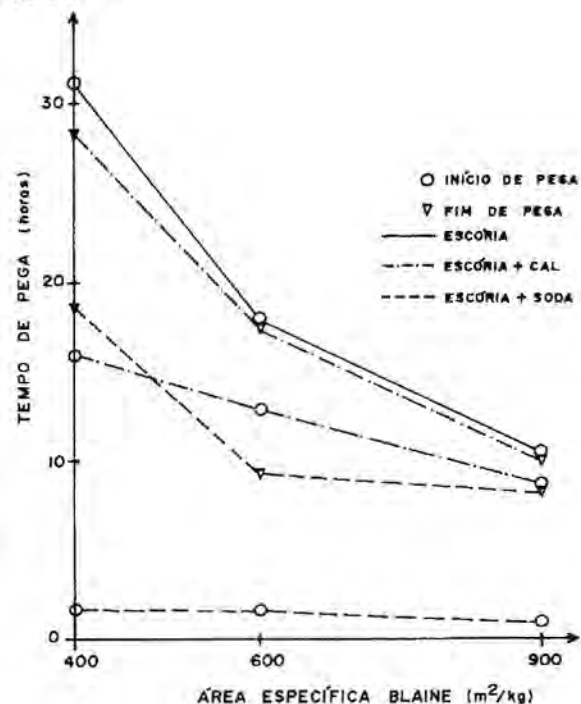


Figura Nº 2

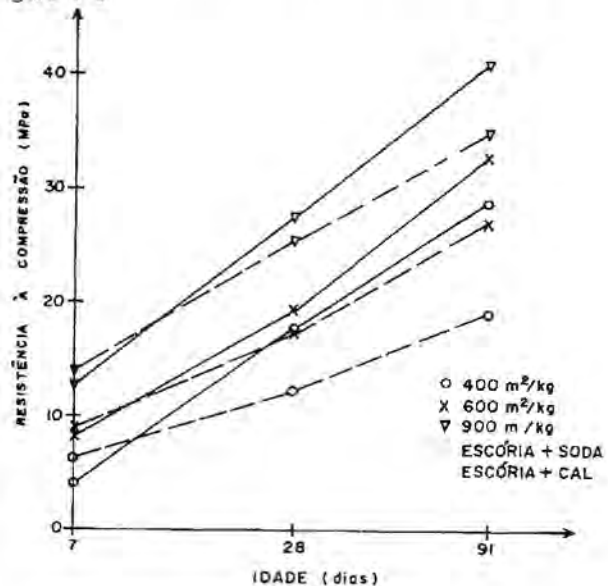


Tabela 1 - Resultados de Ensaio de Resistência a Compressão

Cimento Nº	Ativante / Escória (% massa)			Resistência à Compressão (*) (MPa)			
	Gipsita	Cal	Soda	7 dias	29 dias	63 dias	91 dias
1	-	-	-	9,30	17,6	17,0	20,5
2	5	5	-	25,0	42,8	46,3	47,7
3	5	10	-	29,7	41,9	51,4	55,5
4	5	15	-	32,5	41,0	43,4	47,7
5	5	-	1	16,6	21,5	23,0	26,5
6	5	-	2	23,7	25,5	44,5	44,4
7	5	-	3	28,4	38,4	38,0	37,3
8	-	10	-	21,4	30,6	32,9	32,6
9	-	15	-	21,6	30,1	26,5	30,1
10	-	20	-	18,0	26,0	33,8	33,5

(*) Valor mais alto da série de 3 (três) corpos de prova amassados

Figura Nº 3

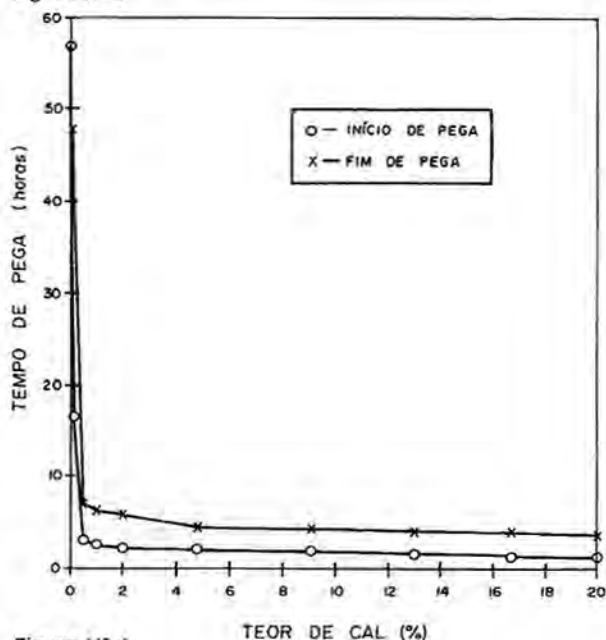


Figura Nº 4

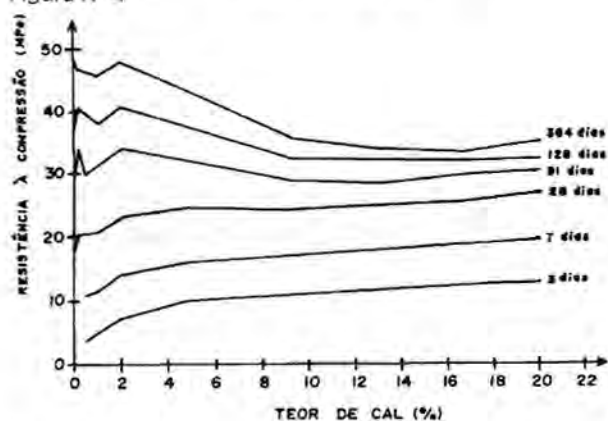
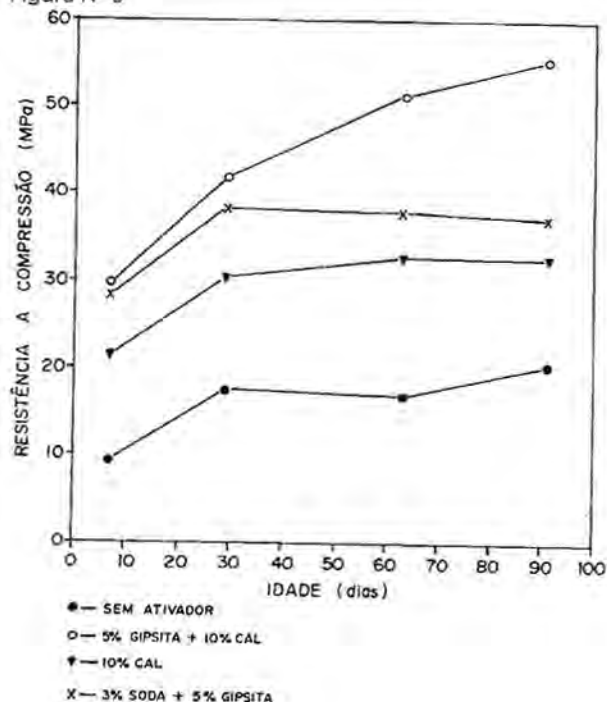


Figura Nº 5



pega e de resistência à compressão, em argamassas de consistência NBR-7215 na faixa 165+5 mm, em cilindros de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, às idades variando de 3 a 364 dias. Os gráficos das figuras 3 e 4 ilustram os resultados obtidos. Foi marcante a influência da cal no tempo de pega (Figura 3). A escória sem cal apresentou tempos de início e fim de pega muito elevados, enquanto que a adição de apenas 0,1% de cal reduziu drasticamente os tempos de pega; a partir de 0,5% de cal, os tempos de pega atingiram níveis semelhantes aos do cimento portland comum, tendendo-se a uma estabilização com o aumentado teor de cal.

Quanto à resistência à compressão, a cal mostrou-se como um catalisador do endurecimento, ao mesmo tempo que, sendo um material não resistente aos esforços mecânicos, teve também um efeito de diluição, diminuindo as resistências relativas, principalmente às idades mais elevadas. Observe-se como, no diagrama da figura 4, as curvas relativas às idades mais baixas tendem a ser crescentes, enquanto que a tendência se inverte às idades mais elevadas. Observou-se uma perturbação, em todas as curvas, entre 0 e 2% de cal. O teor de cal 2% aparece como um dos melhores para a obtenção de maiores resistências a 91, 182 ou 364 dias, porém, para idades abaixo de 28 dias, a resistência aumentou sempre com o aumento de teor de cal, até 20%. Os níveis de resistência obtidos permitiram comparar os melhores cimentos ensaiados ao cimento portland comum classe 25 entre 28 e 91 dias ou classe 32 a idade entre 91 e 182 dias. Com um aumento da finura o desempenho a 28 dias seria facilmente aumentado como indica a grande reserva de resistência observada.

3. ATIVAÇÃO SULFATO-CÁLCICA E SODO-SULFÁTICA

TANGO e VAIDERGORIN⁵ relataram experimentos realizados na França com patrocínio do CNPq*, Governo Francês e IPT. Utilizando escória produzida na usina Sollac em Fos-sur-mer, costa mediterrânea da França, moída até diâmetro médio de partícula (Laser) de 13,8 micrômetros, realizaram-se ensaios de compressão axial em minicilindros de pastas equi-consistentes, com interrupção da hidratação por secagem forçada e verificação dos compostos formados através de ensaios de Análise Térmica Diferencial, Difração de Raios-X e Espectroscopia no Infra-Vermelho; os cimentos experimentais, em número de 10, foram ativados com diferentes proporções de cal, comparando-se os resultados com ativações sulfato-cálcica e sodo-sulfática. Nestes dois casos, a adição de gipsita ao diâmetro de partícula médio (Laser) de 33,2 micrômetros foi sempre de 5 partes para 100 partes de escória moída, e as proporções de cal hidratada Ca(OH)₂ e de soda cáustica NaOH variaram respectivamente de 5,

10 e 15 partes por 100 partes de escória e de 1, 2 e 3 partes por 100 partes de escória, um dos cimentos constituiu-se somente de escória (sem ativador) para comparação.

A Tabela 1 apresenta os resultados de resistência à compressão obtidos e o gráfico da figura 5 uma comparação de evolução de resistências de alguns dos cimentos experimentais.

O gráfico da figura 6 apresenta análises térmicas diferenciais da escória hidratada ativada com 5 partes de gipsita e 10 partes de cal.

O gráfico de figura 7 apresenta difratogramas de Raios-X da escória hidratada ativada com 5 partes de gipsita e 10 partes de cal.

O gráfico de figura 8 apresenta um espectro infravermelho da escória hidratada ativada com 5 partes de gipsita e 15 partes de cal.

Este trabalho permitiu avaliar que a utilização de gipsita favorece o afeito catalisador da cal, atuando nas primeiras idades com a formação de Etringita, material expansivo cuja formação tem que ser controlada, por exemplo, através da limitação de teor de gipsita, pois sua formação após as primeiras idades acarretaria expansões degenerativas prejudiciais, além de ser possível um decréscimo de resistência por reação com o CO₂ do ar conforme explicado mais adiante.

Os níveis de resistência apresentados neste trabalho não podem ser comparados a priori com os dos trabalhos anteriores devido às diferenças de metodologia e de matérias primas empregadas, porém foi possível avaliar a importância de se acrescentar a gipsita para incremento dos níveis de resistência, pelo menos até a idade de 91 dias, principalmente no caso da ativação cálcica. Além disso, o uso da Análise Térmica Diferencial, associado principalmente à Difração de Raios-x, além da espectrografia de infra-vermelho, mostrou-se como instrumento de valia na explicação da hidratação mais segura de compostos potencialmente perigosos.

4. UMA APLICAÇÃO: AGLOMERANTE PARA USO COM FIBRAS VEGETAIS

4.1 Aglomerante com baixa alcalinidade

O emprego de fibras como reforço de matrizes frágeis como as de aglomerantes minerais propicia um significativo aumento na resistência a impactos.

Fibras vegetais - as mais baratas - quanto empregadas em matrizes alcalinas como a de cimento Portland, degradam rapidamente devido a decomposição da lignina segundo Agopyan et al¹ Cincotto e John².

Nos últimos 4 anos o IPT vem desenvolvendo um novo compósito empregando fibras de coco e um aglomerante da baixa alcalinidade (e baixo preço) pouco

Figura Nº 6

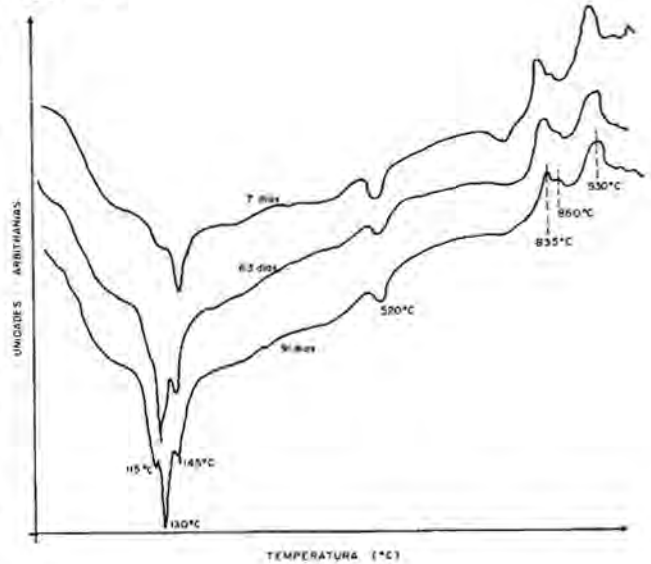


Figura Nº 7

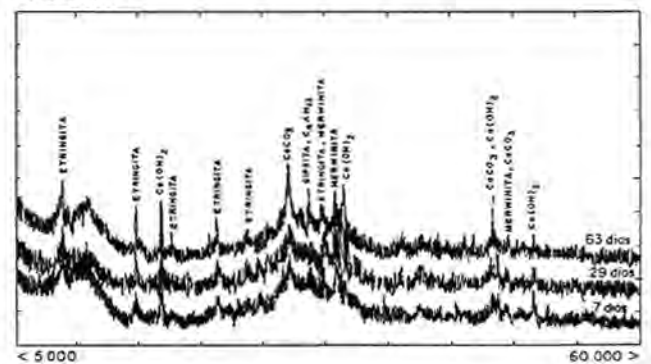


Figura Nº 8

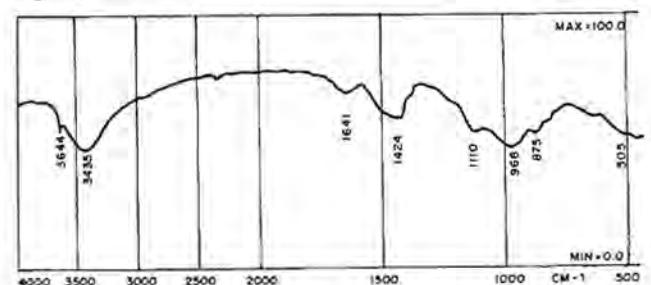


Figura Nº 9

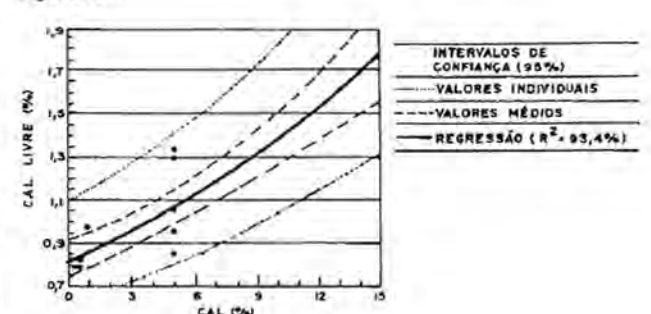


Figura Nº 10

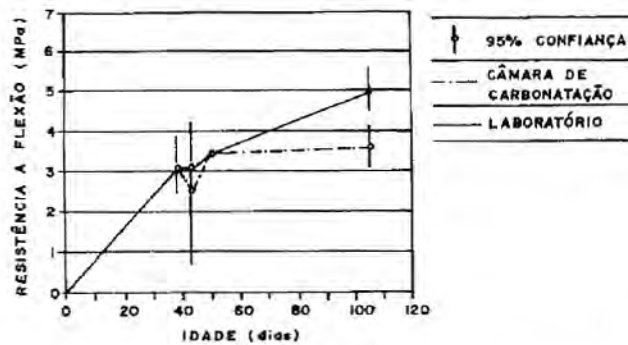


Foto 1. Fabricação experimental de um painel de argamassa de cimento alternativo, reforçada com fibras de coco.



Foto 2. Protótipo construído em 1989, em São Paulo, empregando painéis com o cimento alternativo.

agressivo às fibras ³.

4.2. O teor de cal e a alcalinidade do meio

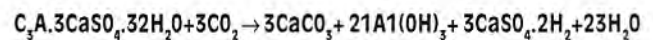
O emprego de cal hidratada como ativador apresenta resultados negativos, para emprego com fibras vegetais, do ponto de vista da alcalinidade do meio (Fig. 9).

Por outro lado, um aumento do teor de gipsita não afeta a alcalinidade. Desta maneira decidiu-se empregar uma ativação sulfato-cálcica com teor mínimo de cal.

No entanto teores de cal de 0,2% produziram misturas nas condições necessárias à produção do compósito como tendência à exsudação dos ativadores, resultando em baixas resistências.

Teores elevados de cal e gipsita provocam um decréscimo da resistência em idades superiores a 28 dias. Segundo recomendações da bibliografia internacional e os resultados experimentais selecionou-se o traço de aglomerante (0,88:0,02:0,10), escória:cal:gipsita, que permitia a desforma em 24 horas e produzia painéis com resistência final compatível.

No entanto, ensaios de durabilidade demonstraram que tal aglomerante apresentava perda de resistência por carbonatação (Fig. 10), devido à decomposição da etringita formada durante a hidratação pela reação de gipsita com a escória, conforme a equação:



O aglomerante também apresentava alguma solubilidade na água. Por esta razão foi investigada a possibilidade de redução do teor de gipsita.

Uma nova série de corpos de prova, empregando-se argamassa 1:3:0,48 (agregado: areia: água) com areia normal brasileira, escória da COSIPA moída na finura 420 m²/g com teor constante de cal (2%) e variando-se o teor de gipsita entre 0 e 10%.

Os resultados indicam que é possível reduzir o teor de gipsita para 4%, sem comprometimento significativo da resistência inicial.

Além de melhora na durabilidade há uma redução do custo do aglomerante, uma vez que a gipsita é o mais importante componente de custo.

4.3. Execução de protótipo

Foi executado um protótipo de casa empregando um sistema de painéis desenvolvido pelo IPT³ com a colaboração financeira do IDRC * (Fotos 1 e 2). O protótipo está em Vila Nova Cachoeirinha, na grande São Paulo, apresentando condições de uso satisfatórias desde 1989, mesmo não tendo sido, na época, empregados os materiais que ultimamente têm se mostrado de melhor desempenho potencial.

5. CONCLUSÃO

Os estudos ora iniciados no IPT não se constituem em constatações inéditas na tecnologia dos aglomerantes. O poder aglomerante da escória sem clínquer foi inclusive constatado talvez até antes da invenção do próprio cimento portland.

Nos tempos atuais, todavia, as condições que propiciaram o esquecimento da escória como constituinte fundamental de um cimento não são mais as mesmas.

A população dos países em desenvolvimento cresceu assustadoramente. O mundo empobreceu. A energia se torna escassa. É hora de viabilizar o uso de aglomerantes alternativos de baixo custo, e o cimento sem clínquer à base de escória de alto forno apresenta, sem dúvida, resultados promissores neste sentido. Temos que desenvolver e usar nossas próprias tecnologias de países pobres, e nisso reside a novidade — quem sabe, fundamental.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 AGOPYAN, V.; JOHN, V.M. & DEROLLE, A. *Construindo com Fibras Vegetais*. Revista "A Construção São Paulo". Abril, 1990.
- 2 CINCOTTO, M.A.; & JOHN, V.M. *Cimento Alternativo à base de escória de alto-forno*. Revista "A Construção São Paulo", Editora Pini. No. 2204. Maio, 1990.
- 3 INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - I.P.T. *Fibre/Agro - Industrial By-Products Bearing Walls. IDRC - International Development Research Centre*. Relatório IPT nº. 27.937/91. Novembro de 1990.
- 4 SILVA, E.; FLORINDO, M.C. & ALMEIDA, C. *Estudo e Avaliação Comparativa do Poder Aglomerante da Escória Granulada de Alto Forno*. Revista "A Construção - São Paulo", Editora Pini. No. 2248 e 2252, março e abril de 1991.
- 5 TANGO, C.E.S. & VAIDERGORIN, E.Y.L. *Cimento sem Clínquer: Um Estudo da Ativação de Escória de Alto-Forno*. Revista "A Construção - São Paulo". Encarte IPT/PINI No. 25 e 26. Editora Pini. No. 2268, Julho e Agosto de 1991.
- 6 TEZUKA, Y.; FLORINDO, M. C. & SILVA, E. *Cement Based on Blast-Furnace Slag*. In: Low-Cost and Energy Saving Construction Materials. V.1. Ed. K. Chavami and H.Y. Fang. Rio de Janeiro, 1984. pp. 315-330.

- HARMS, H. BREMER AND SCHUBERT, D. (1984): 'Selbsthilfe bei der Stadterneuerung in Hamburg. Fallstudie "Schröderstift". *Forschungsberichte des FSP 6*, vol. 14. Hamburg-Harburg: Stadterneuerung und Werterhaltung der T.U.
- HARMS, H. BREMER AND SCHUBERT, D. (1986): *Stadterneuerung und Selbsthilfe in Hamburg*. Bd. 22, Forschungsberichte des FSP 6. Hamburg-Harburg: Stadterneuerung und Werterhaltung der Technischen Universität.
- HARMS, H., FEWRNER, SCHUBERT, D. AND TORNOW (1988): *Zukunft der Grobsiedlungen, Ein Tagungsbericht*, Bd. 33, Forschungsberichte des FSP 6. Hamburg-Harburg: Stadterneuerung und Werterhaltung der TU.
- JESSEN, J., SIEBEL, W. et al. (1987): *Arbeit nach der Arbeit*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- KEARE, D.H. AND PARRIS, S. (1982): *Evaluation of Shelter Programmes for the Urban Poor. Principal Findings*, World Bank Staff Papers 547. Washington, DC: The World Bank.
- KROPORKIN, P. (1988): *Fields, Factories and Workshops: or Industry Combined with Agriculture and Brain Work with Manual Work*. London: Nelson.
- KUCKUCK, A. AND WOHLERS, H. (1990): *Selbsthilfe, Ansichten, Aussichten*. Berlin: Stern Verlag.
- LIEBERS, GÜNTER (1990): *Belegungsbedingungen, Verwaltung, Wohnungsnot*. Darmstadt: Verlag für Wissenschaftliche Publikationen, 1990.
- METINS, G. (1986): 'Die abitat-Misere in Grobstädten der "Dritten Welt". In Augel, J., Hillen, P. and Ramalho, L. (eds.), *Die Verplante Wohnmisere*. Saarbrücken: Breitenbach.
- MIGGE, L. (1932): *Die wachsende Siedlung*.
- NOVY, K. AND FÖRSTER, W. (1985): *Einfach bauen. Katalog zu einer wachsenden Ausstellung*. Verein für moderne Kommunalpolitik.
- REINIG, J. (1989): *Wohnprojekte in Hamburg von 1980 bis 1989*. Darmstadt: Verlag für wissenschaftliche Publikationen.
- SMILES, S. (1860): *Self-Help, with Illustrations of Character and Conduct*. London: Murray.
- STÜBER, D. (ed) (1988): *Wohnen-quergedacht. Diskussionsverläufe und Arbeitsergebnisse eines ASA Auswertungsseminars*. Berlin: ASA, Programm/Carl-Duisberg-Gesellschaft sV.
- TURPIJN, W. (1988): Self-Help in West Europe. TRIALOG, 18.
- VOLNY, OLLE (1977): Architektur durch eigene Arbeit. *Bauwelt*, 34, Berlin.
- VOLNY, OLLE (1986): *Stockholms organiserade självbyggeri ett internationellt perspektiv*. KTH, Arkitektur, Sotckholm.
- WAGNER, M. (1932): *Das wachsende Haus*. Berlin and Leipzig.
- WERNER, J. (1977): *Anpaßbarer Wohnbau, Entwicklungsstand und Tendenzen*. Munich: Callwey.