

Propriedades e aplicações do agregado leve de lodo de esgoto

SERGIO SIMONDI (1)
YOSHIKI YAMADA (2)
VERA LUCIA AMARAL SARDINHA (3)

1. INTRODUÇÃO

A utilização do resíduo de lodo digerido das estações recuperadoras de qualidade das águas na fabricação de agregado leve para concreto, trouxe não só uma solução para a disposição final desses resíduos, mas também o desenvolvimento de uma tecnologia própria de aplicação desse agregado para a produção de concretos leves, homogêneos, de fácil emprego em obras de construção civil.

Esse trabalho é, em essência, baseado em ensaios realizados para caracterização do agregado leve de lodo e de concretos produzidos com esse agregado, incluindo um estudo comparativo com concretos leves de argila expandida.

Apresentamos também a experiência da Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP na utilização de concretos com agregado leve de lodo.

2. CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO LEVE DE LODO (ALL)

2.1. GENERALIDADES

A especificação EB-230 da ABNT, que fixa as características exigíveis dos agregados leves para concreto estrutural, abrange, além dos agregados constituídos por materiais naturais, os agregados preparados por expansão, calcinação ou sinterização de produtos como escória de alto forno, argila, diatomita, cinzas volantes, ardósia ou folhelho.

A referida norma data de 1969, sendo anterior à utilização dos agregados leves de lodo digerido de esgoto. Isso justificou a necessidade de um estudo por parte do Laboratório de Concreto da SABESP, de uma adaptação da metodologia existente para ensaios com agregados leves, adaptando-a ao ALL.

2.2. GRANULOMETRIA

Os ensaios de granulometria foram executados de acordo com o MB – 7 da ABNT, e as curvas limites correspondem à graduação 5 da EB – 230 (Agregado leve para concreto estrutural.).

O peneiramento foi feito por processo mecânico e o tempo de operação foi de 1 minuto ao invés de 5 minutos

como estipulado no item 4.1.2 da EB – 230 para evitar a ruptura dos grãos no decorrer do processo.

A curva granulométrica apresentada na FIG 1 foi obtida com a média de 45 ensaios realizados em amostras do material, cujos resultados encontram-se no Quadro 1.

Das 45 amostras ensaiadas, 90% apresentaram diâmetro máximo de 38 mm e 10% de 25 mm.

O módulo de finura médio foi de 7,02 com um desvio padrão de 0,29. Todas as amostras ensaiadas mantiveram-se dentro da faixa limite de variação de 7% em torno da média, prevista pela EB-230, conforme é apresentado na FIG. 2.

2.3. IMPUREZAS ORGÂNICAS

Todas as amostras do agregado leve de lodo foram ensaiadas segundo o MB – 10 da ABNT, com o emprego de um colorímetro, e apresentaram intensidade de cor inferior à padrão, indicando que o agregado em estudo não possui matéria orgânica em quantidade superior ao limite de 300 ppm.

2.4. TORRÕES DE ARGILA

O ensaio para determinação do teor de argila em torrões no ALL não pode

(1) Engenheiro, Chefe do Departamento de Apoio Técnico, Diretoria de Construção – SABESP.

(2) Engenheiro, Chefe da Divisão de Manutenção Civil, Diretoria de Operação da Região Metropolitana – SABESP.

(3) Engenheira do Laboratório de Concreto do Departamento de Apoio Técnico, Diretoria de Construção – SABESP.

PENEIRAS		% RETIDA	% ACUMULADA
Nº	ABERTURA EM mm:		
1 1/2"	38	1	1
1"	25 *	15	16
3/4"	19	21	37
-	12,5 *	27	64
3/8"	9,5	10	74
Nº 4	4,8	21	95
Nº 8	2,4	4	99
Nº 16	1,2	-	99
Nº 30	0,6	-	99
Nº 50	0,3	-	99
Nº 100	0,15	-	99
RESIDUO		1	-
TOTAIS		100	702

* PENEIRAS INTERMEDIÁRIAS, NÃO ENTRAM NO CÁLCULO DO MÓDULO DE FINURA.

QUADRO 1 - Granulometria.

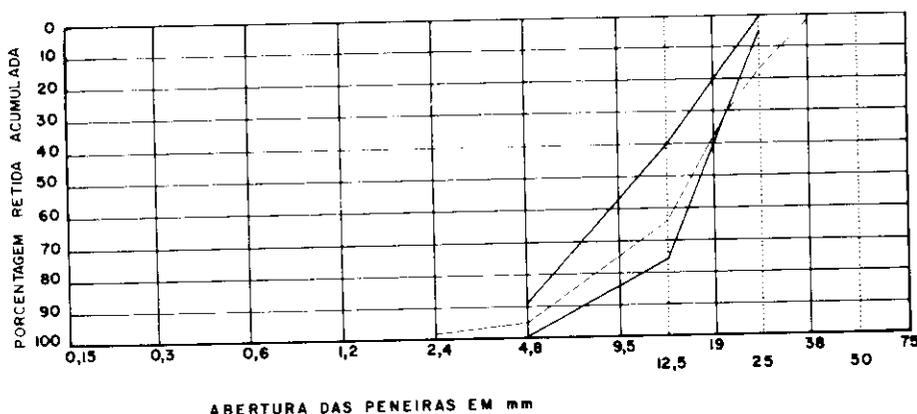


FIG. 1 - Curva granulométrica (Graduação 5 da EB-230 da ABNT).

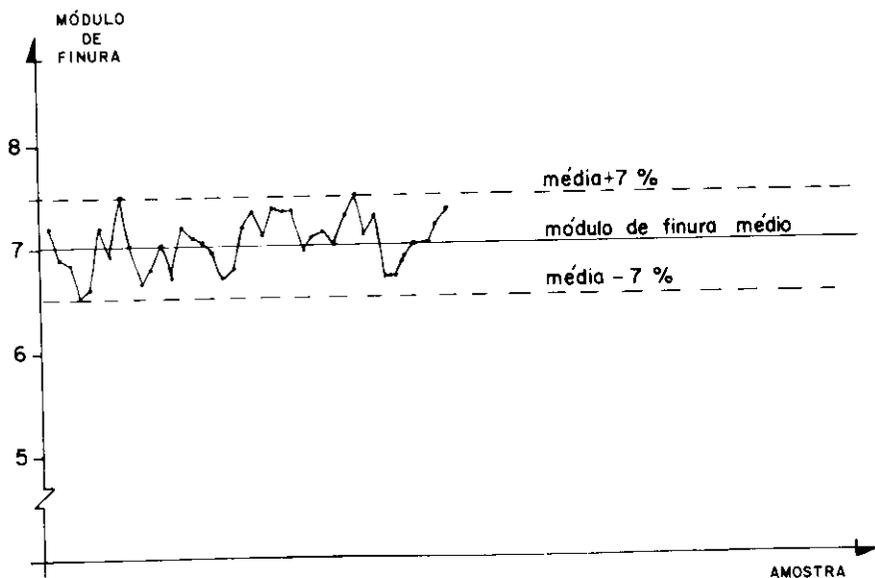


FIG. 2 - Módulo de finura.

ser executado conforme o MB-8 da ABNT, porque durante o esmagamento dos torrões há a ruptura dos grãos do ALL.

A metodologia utilizada foi a separação da amostra após o peneiramento

(peneiras 38, 19, 4,8 e 1,2 mm) sendo aproveitado para ensaio somente o material retido nas peneiras 4,8 e 1,2 mm.

A amostra foi pesada e estendida numa vasilha metálica de bordos rasos, sendo feito então um exame visual da

amostra, seguido de um esmagamento dos torrões externos aos grãos do ALL. Após o repeneiramento pesou-se cada fração. O peso dos torrões de argila foi obtido pela diferença entre os dois pesos e expresso em porcentagem do peso inicial da amostra ensaiada.

O teor médio de torrões de argila nos ensaios realizados foi de 0,40% em relação ao peso do material seco, bem inferior ao limite máximo permitido de 2%.

2.5. MATERIAL PULVERULENTO

Os ensaios para determinação do teor de materiais pulverulentos foram feitos segundo o MB-9 da ABNT, observando-se porém, que após secagem em estufa da amostra a ser ensaiada, o material foi lavado sem a agitação recomendada no item 4.b da referida norma, a fim de evitar a ruptura dos grãos do agregado.

A média em 16 ensaios realizados foi de 1,2%, um pouco superior ao limite máximo permitido pela EB-4 da ABNT que é de 1%.

2.6. ABSORÇÃO DE ÁGUA

Como o teor de absorção de água após permanência nas condições termohigrométricas do ar do Laboratório apresentou grande variabilidade, tomou-se como referência o peso da amostra seca em estufa até constância de peso. Foram feitas várias determinações, variando-se o tempo de imersão em água após a secagem do material.

O teor percentual de absorção de água foi calculado com base na expressão:

$$A (\%) = \frac{P_{ai} - P_{se}}{P_{se}} \times 100$$

onde:

P_{ai} = peso da amostra após imersão em água

P_{se} = peso da amostra seca em estufa até constância de peso

É importante ressaltar, que neste ensaio, 70% da absorção total foi atingida entre 10 e 20 minutos.

A Fig. 3 dá uma visão de como se processa essa absorção.

Os resultados médios dos ensaios de absorção são apresentados no Quadro 2.

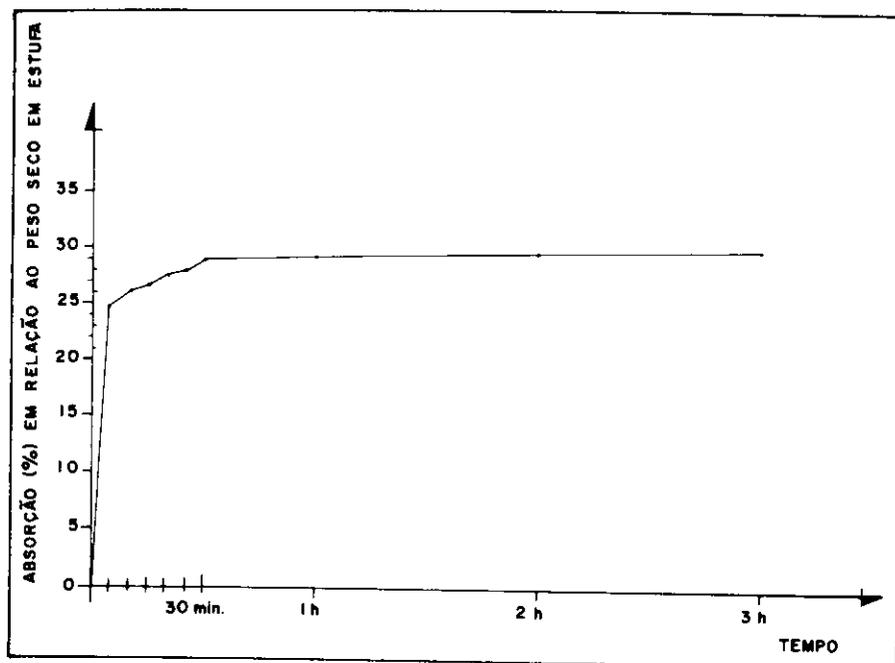


FIG. 3 – Absorção.

Tempo de Imersão	5min	10min	15min	20min	25min	30min	1h	2h	3h
Absorção (%)	24,6	26,1	26,6	27,2	27,6	28,3	29,0	29,2	29,3

QUADRO 2 – Ensaio de absorção de água – média dos resultados.

2.7. MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO (PESO UNITÁRIO)

A massa específica do agregado foi determinada pelo método ASTM C-29/78, considerando-se o quociente do peso do agregado pelo seu volume ocupado no estado seco e solto.

A amostra do ALL é colocada em estufa a 100°C até constância de peso, colocada em recipiente paralelepípedo de 20 x 20 x 25 cm, e não adensada.

A média obtida em ensaios com 40 amostras foi 521 kg/m³, valor inferior ao limite máximo permitido pela EB-230 de 880 kg/m³.

Foram feitos ensaios para determinação do peso unitário com o ALL seco no ar, apresentando um resultado médio de 530 kg/m³ e com o ALL saturado superfície seca, com resultado médio de 597 kg/m³.

2.8. MASSA ESPECÍFICA DO GRÃO DO AGREGADO (MÉTODO DA BALANÇA HIDROSTÁTICA)

O ensaio para determinação da massa específica do grão é realizado com o agregado saturado, após imersão em água por 2 horas, seco até a obtenção

de uma amostra saturada com superfície seca.

A amostra é pesada, colocada em cesta metálica, imersa num recipiente com água e novamente pesada.

Nesse ensaio é considerado o peso da unidade de volume aparente dos grãos, incluindo neste os poros permeáveis e impermeáveis e excluindo os vazios entre os grãos.

A média obtida em ensaios com 40 amostras foi de 1180 kg/m³.

2.9. PERDA AO FOGO

O ensaio de perda ao fogo do ALL é executado de acordo com o MB-1 da ABNT.

Nesse ensaio o agregado leve de lodo apresenta um valor médio de 0,18%, inferior ao limite máximo permitido pela EB-230, que é de 5%.

2.10. MANCHAMENTO

Pela EB-230 da ABNT o ensaio para determinação do teor de materiais que causam manchas é facultativo e deve ser feito de acordo com a ASTM C 330.

O ensaio consiste em embalar o agregado leve do lodo em papel filtro, submetê-lo a vapor de água e verificar

a quantidade de manchas que aparecem no papel filtro. Pela classificação visual proposta no método, o ALL apresentou manchamento classificado como forte.

A análise química para determinação de óxido férrico (Fe₂O₃), apresenta um resultado médio de 2 mg de óxido férrico por 200 g de agregado, valor esse superior ao limite máximo permitido pela EB-230 que é de 1,5 mg/200 g.

Pelos resultados dos ensaios concluímos que concretos feitos com ALL poderão apresentar manchas em sua superfície, causadas pelo teor excessivo de óxido férrico.

3. CONCRETOS COM AGREGADO LEVE DE LODO

Um concreto leve com ALL, para lançamento convencional, deve possuir um volume de argamassa aproximadamente igual ao de um concreto de agregado granítico para lançamento com bomba, em virtude da penetração de nata e argamassa nos vazios próximos à superfície dos grãos do agregado.

A consistência do concreto com agregado leve de lodo medida pelo abatimento do tronco de cone (MB-256 da ABNT), apresenta resultados inferiores ao de um concreto com mesmo traço e agregado de granito, pois este ensaio é muito influenciado pelo peso próprio do concreto. Assim, dois concretos com igual trabalhabilidade, sendo um com ALL e outro com agregado granítico apresentam diferentes medidas de consistência, sendo que o abatimento é menor para o concreto com agregado leve de lodo.

No preparo de concretos com ALL notou-se dificuldade no emprego desse agregado quando seco, pois a absorção atinge valores elevados num curto espaço de tempo. Como em média temos cerca de 500 kg de agregado leve para cada metro cúbico de concreto, considerando uma absorção de 26%, em 10 minutos essa absorção corresponderá a cerca de 130 litros de água, sendo que esse fenômeno ocorre durante a mistura, transporte e lançamento do concreto, provocando sérios prejuízos à sua trabalhabilidade. Não é possível, também, compensar essa água de absorção no ato da mistura, pois isso ocasiona um aumento excessivo de fluidez na argamassa, provocando segregação entre ela e o agregado leve de lodo.

Deve-se então, utilizar o agregado leve de lodo no estado saturado com superfície seca.

TRAÇO	a/c (l/kg)	Consumo (kg/m ³)	Ori- gem	Densidade Concreto Fresco (kg/m ³)	Densidade Concreto 28 dias (kg/m ³)	Compressão Axial(28d) (kgf/cm ²)	Compressão Diametral 28 dias (kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidade 28 dias (kgf/cm ²)	Coefficiente de Poisson
1:2,54:1,63	0,60	300	Lab.	1779	1766	206	19	147245	-
1:2,59:1,54	0,59	320	Lab.	1830	1792	184	18	184000	0,09
			Usina	1990	2029	265	22	175000	0,14
			Extr.	1990	2029	270	24	131000	0,13
1:2,29:1,41	0,55	349	Lab.	1791	1744	201	19	203000	0,12
			Usina	1980	1871	290	25	133000	0,13
			Extr.	1980	1871	240	25	136500	0,16
1:2,04:1,30	0,50	379	Lab.	1769	1762	229	20	230000	0,11
			Usina	2004	1941	310	28	192000	0,15
			Extr.	2004	1941	262	29	138000	0,14
1:1,83:1,21	0,47	408	Lab.	1794	1766	232	23	234500	0,10
			Usina	1955	1915	285	27	153000	0,14
			Extr.	1955	1915	260	28	160000	0,15
1:1,64:1,31	0,44	438	Lab.	1765	1739	238	20	234800	0,13
			Usina	2000	1960	320	27	194500	0,17
			Extr.	2000	1960	290	28	140000	0,17
1:1,37:1,06	0,35	470	Lab.	1810	1793	267	25	172211	-

QUADRO 3 -- Dosagem de concretos em ALL e resultados obtidos.

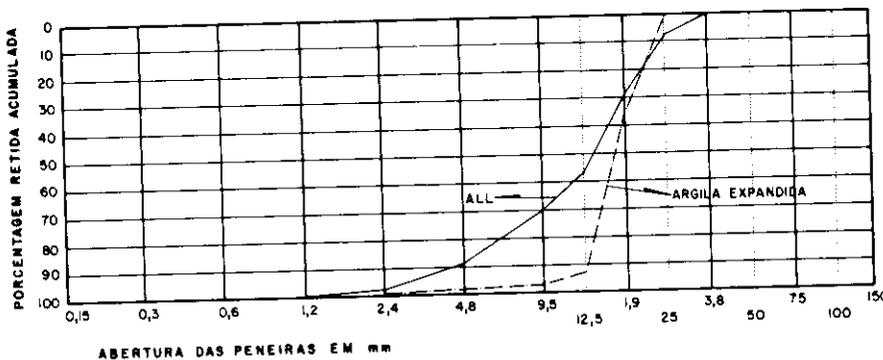


FIG. 4 -- Curvas granulométricas do ALL e Argila Expandida.

	Agregado Leve de Lodo	Argila Expandida
Módulo de Finura	7,02	7,26
Diâmetro Máximo (mm)	38	25
Massa específica do agregado (seco em estufa) (kg/m ³)	521	568
Massa específica dos grãos (kg/m ³) (Balança Hidrostática)	1180	1120
Absorção de água (%) em relação ao peso seco em estufa, após 1h de imersão	29	19

QUADRO 4 -- Resultados dos ensaios realizados.

Num estudo feito no Programa Sagnan sobre concretos com ALL, produziram-se concretos no laboratório, com betoneira de eixo inclinado, na usina, com betoneira de eixo vertical e foram extraídos corpos de prova de blocos de 0,80 x 2,50 x 0,40 m moldados com esse concreto usinado. No preparo desses concretos usou-se como agregado miúdo uma areia natural.

O Quadro 3 apresenta alguns traços de concretos com ALL e os resultados dos ensaios efetuados.

Os resultados correspondentes ao primeiro e último traço foram obtidos no Laboratório de Concreto da SABESP. Os demais resultaram do Relatório Específico nº 001/5/81, da EPT - Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S/A.

4. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ALL E ARGILA EXPANDIDA

Para comparar o desempenho do agregado leve de lodo, com o agregado leve de maior uso na atualidade no Brasil, o de argila expandida, foram realizados vários ensaios em amostras de ambos os agregados.

A amostra de argila expandida apresentou um módulo de finura de 7,26 e diâmetro máximo de 25 mm.

O agregado leve de lodo possui granulometria contínua, enquanto que a

argila expandida apresenta grãos quase que em sua totalidade, retidos entre as peneiras de 12,5 mm a 19 mm.

A curva granulométrica da Fig. 4 apresenta os resultados dos ensaios de granulometria do ALL e da argila expandida.

As principais características dos materiais estão resumidas no quadro 4.

Nos estudos de dosagem para efeito comparativo entre concretos com os dois agregados, utilizaram-se os traços constantes do Quadro 5, que apresenta também os resultados obtidos nos ensaios. No preparo desses concretos usou-se como agregado miúdo uma areia natural.

Observou-se durante os ensaios, a excelente trabalhabilidade do concreto com ALL com visível vantagem sobre o concreto com argila expandida, que apresentou maior tendência à segregação.

A resistência à compressão axial de concreto com argila expandida é superior, para mesmos traços e idades, à do concreto com ALL, conforme observa-se na Fig. 5

Um concreto com agregado leve de lodo atinge, aos 28 dias, aproximadamente a mesma resistência que um concreto de mesmo traço, porém com argila expandida, alcança aos 7 dias.

5. APLICAÇÃO DE CONCRETO COM ALL

A utilização de concreto com agregado leve de lodo de esgoto é recente na Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Foram necessários inúmeros ensaios com diversas dosagens, e nas primeiras aplicações feitas pela Divisão de Manutenção Civil, utilizou-se o ALL sem saturação com um controle da umidade, passando-se depois a utilizá-lo previamente saturado.

Na Foto 1 são apresentados aspectos de corpos de prova de concreto com ALL.

Entre as primeiras aplicações deste material, destacamos:

- placas premoldadas para montagem de armários no vestiário dos empregados (fotos 2, 3 e 4).
- pisos em concreto armado para o pátio do almoxarifado, o pátio de descarga de aço para constru-

TRAÇO EM PESO c/a: a ₁ miúdo:a ₂ grauado	a/c (l/kg)	Consumo (kg/m ³)	Compressão Axial (kgf/cm ²)		Compressão Diametral (kgf/cm ²)		
			7d	28d	7d	28d	
Agregado leve de lodo	1:1,14:1,00	0,40	490	211	259	19	25
	1:1,64:1,25	0,50	392	156	217	15	19
	1:2,12:1,50	0,60	327	126	183	11	15
Argila expandida	1:1,07:0,98	0,40	488	256	296	42	26
	1:1,50:1,23	0,50	395	230	285	21	26
	1:2,01:1,49	0,60	325	177	257	20	22

QUADRO 5 - Dosagens dos concretos e resultados obtidos.

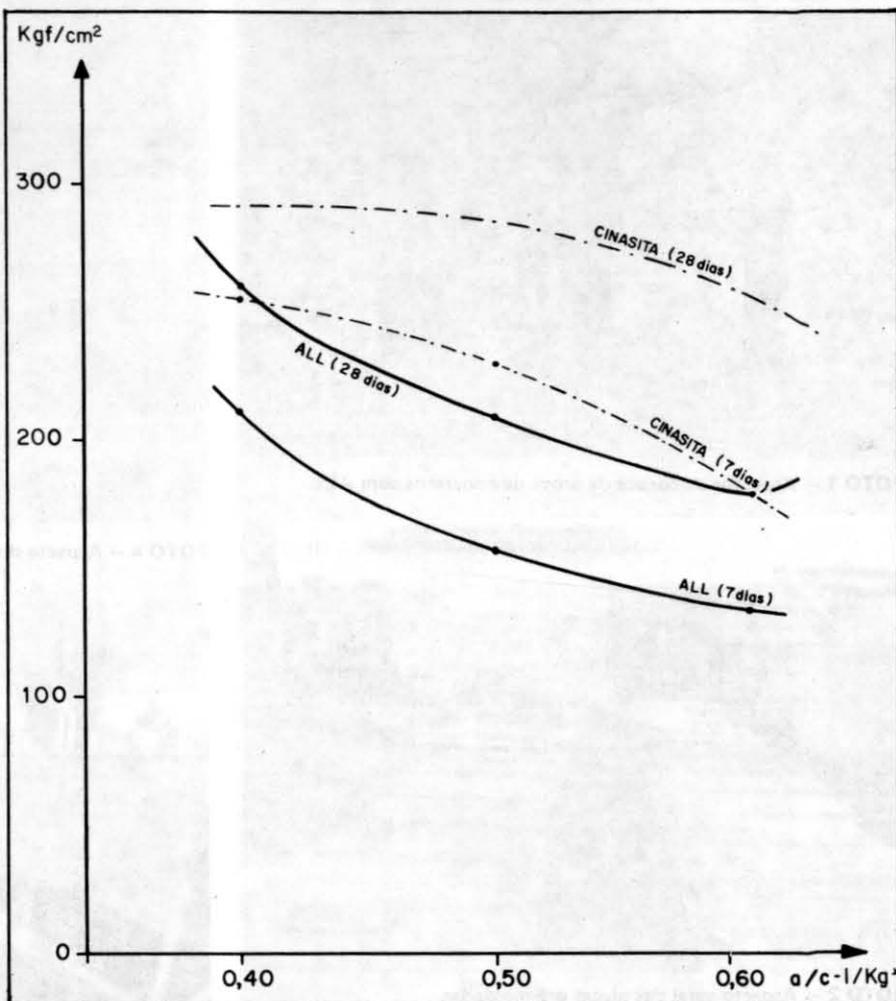


FIG. 5 - Resistência à compressão axial em função do fator água + cimento.

- laje de cobertura do Escritório Administrativo da Superintendência de Produção. (Fotos 10, 11, 12 e 13).
 - Atualmente um projeto está sendo desenvolvido para aplicação do ALL, que é o da construção do Edifício de Administração da ERQ Barueri, com concreto estrutural de fck = 150 kgf/cm².
- placas premoldadas para montagem de armários no vestiário dos empregados (fotos 2, 3 e 4).
 - pisos em concreto armado para o pátio do almoxarifado, o pátio de descarga de aço para constru-
 - ção, e para depósito de agregados. (Fotos 5, 6 e 7).
 - blocos articulados para pavimentação do pátio interno das Oficinas de Manutenção do Guarapiranga. (Foto 8).
 - estrutura em concreto armado da cabine pressurizada para o exaustor da Oficina de Manutenção. (Foto 9).

- laje de cobertura do Escritório Administrativo da Superintendência de Produção. (Fotos 10, 11, 12 e 13).
- Atualmente um projeto está sendo desenvolvido para aplicação do ALL, que é o da construção do Edifício de Administração da ERQ Barueri, com concreto estrutural de fck = 150 kgf/cm².



FOTO 1 – Aspectos de corpos de prova de concretos com ALL.

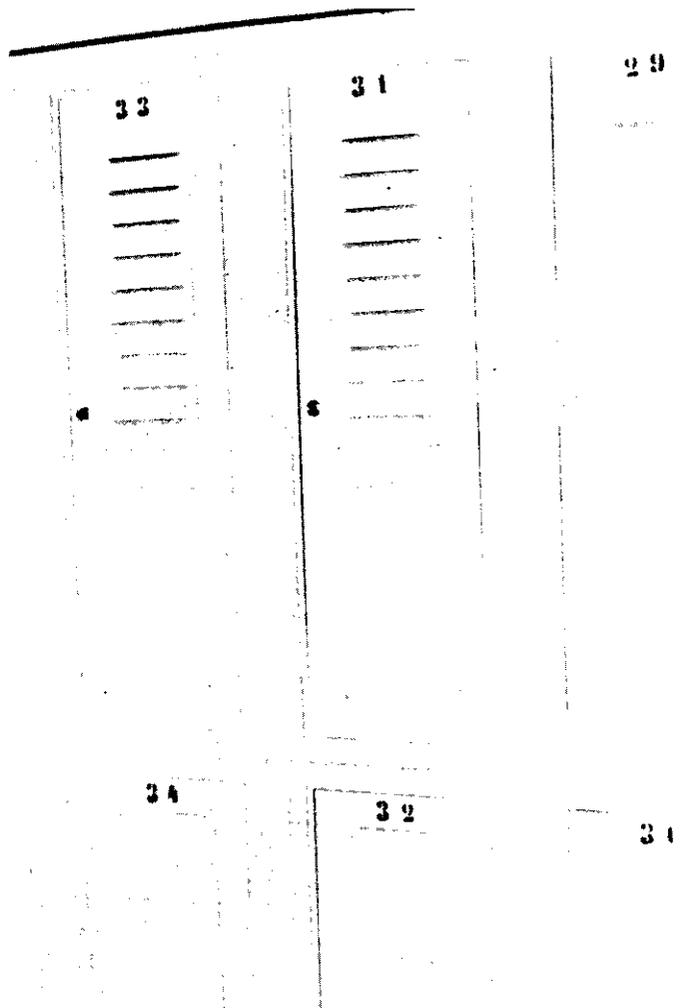
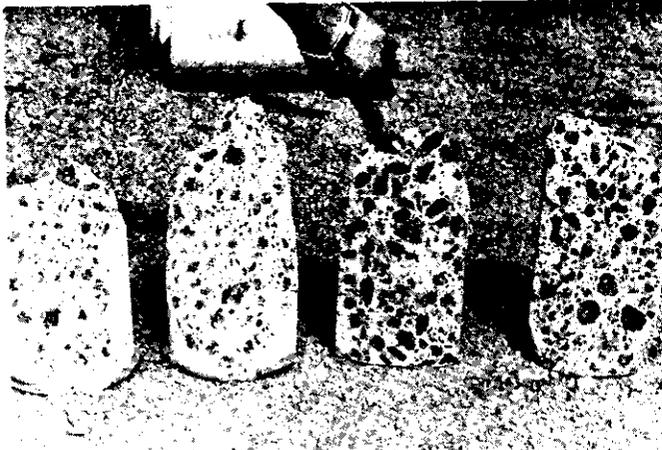


FOTO 4 – Aspecto dos armários prontos.

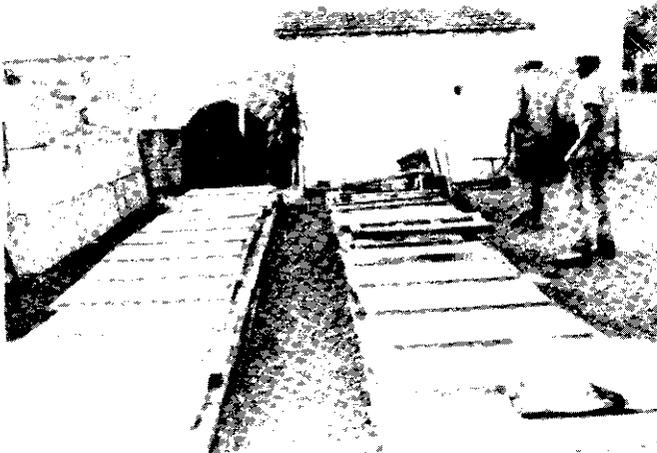


FOTO 2 – Aspecto geral das placas pré-moldadas.

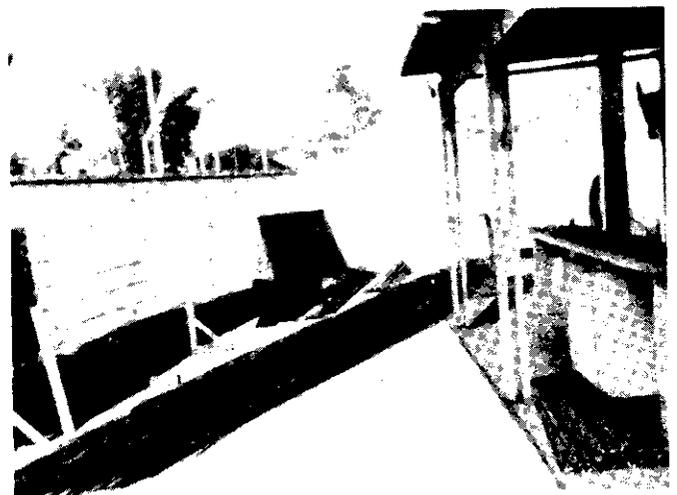


FOTO 5 – Pátio de descarga de aço.

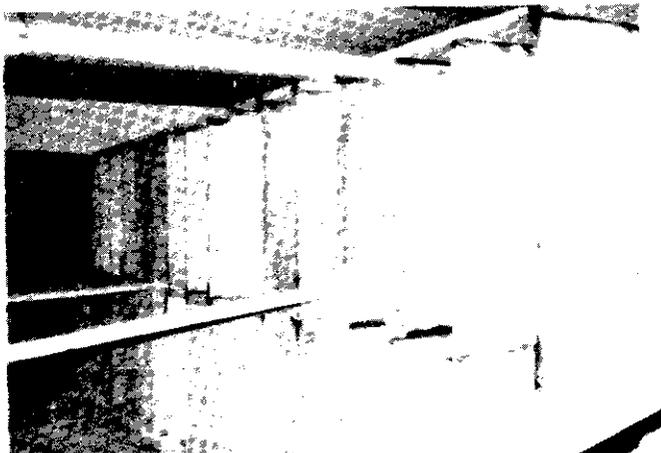


FOTO 3 – Montagem das Placas.



FOTO 6 – Depósito de agregados.



FOTO 7 – Pátio do almoxarifado.



FOTO 8 – Blocos articulados para pavimentação.

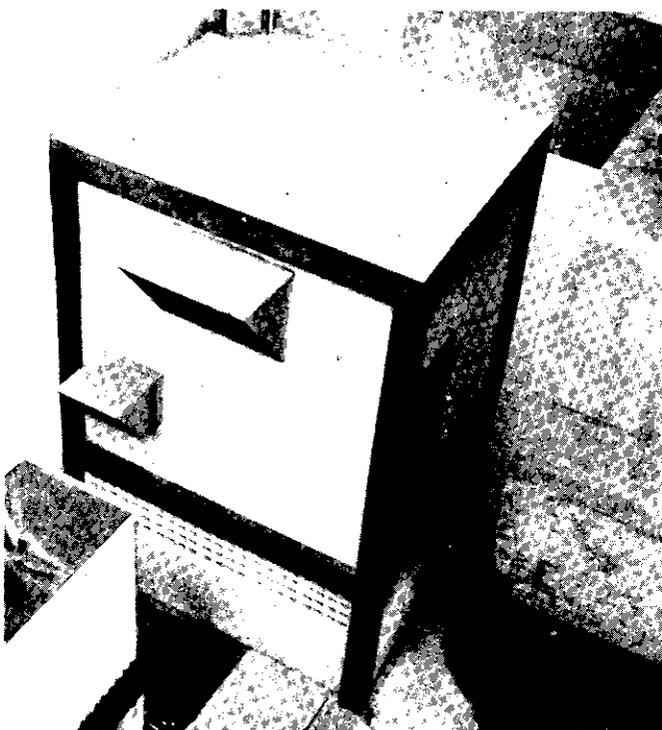


FOTO 9 – Cabine pressurizada de exaustão.



FOTO 10 – Aspecto do concreto com ALL.



FOTO 12 – Aspecto da concretagem.



FOTO 11 – Concretagem da laje de cobertura.

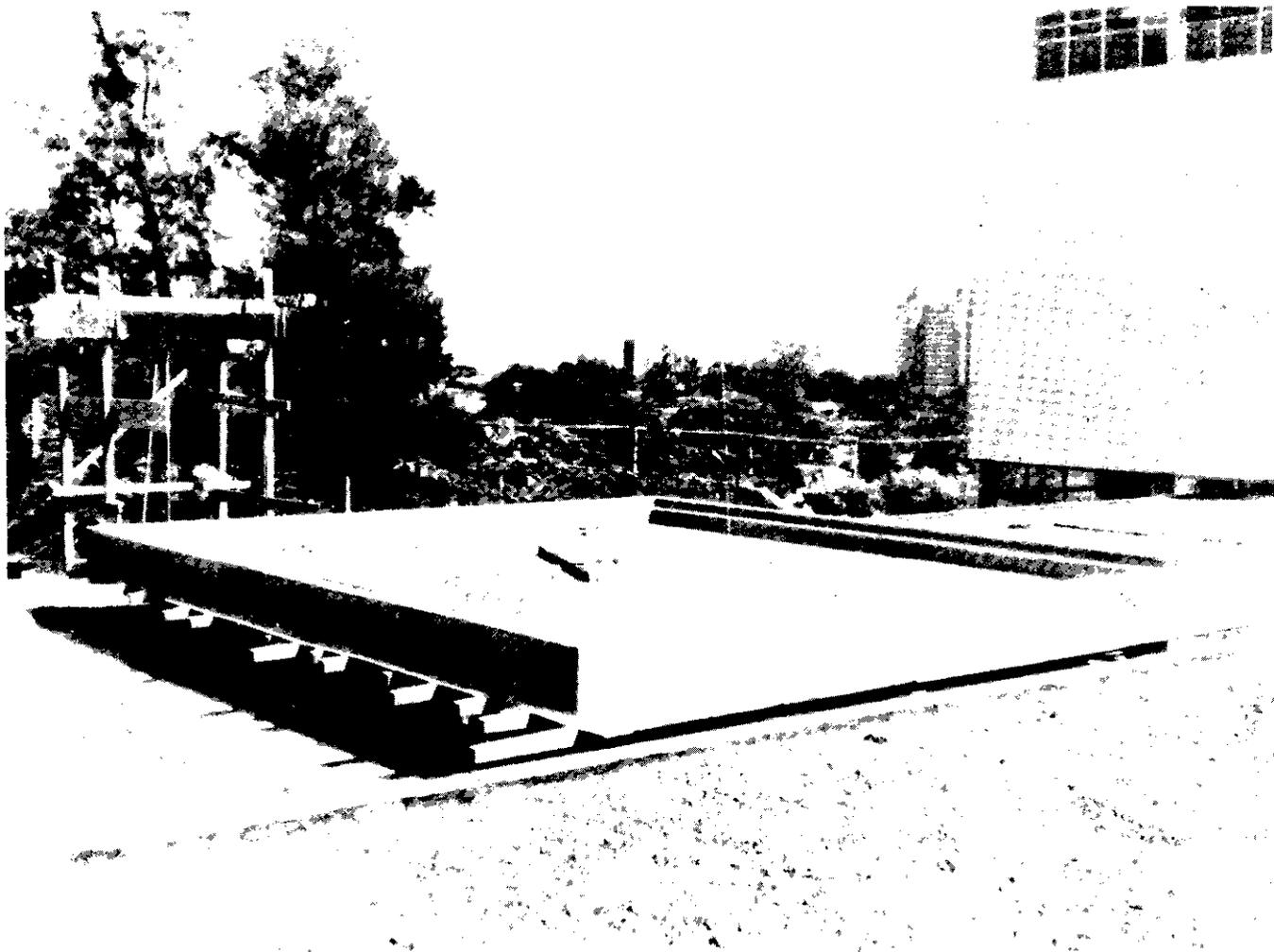


FOTO 13 – Laje de cobertura pronta.