

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR

ESTÁGIO - SUPERVISIONADO

SÉRGIO ALEXANDRE DE FARIAS PIMENTEL



Biblioteca Setorial do CDSA. Junho de 2021.

Sumé - PB

A G R A D E C I M E N T O S

Ao professor ROBERTO VASCONCELOS COSTA, pela oportunidade que me concedeu, pela orientação sincera, honesta e segura, e ainda pelo incentivo com que o mesmo me orientou.

Aos funcionários e laboratoristas dos laboratórios de solos I e II pela grande colaboração concedida.

SERGIO ALEXANDRE DE FARIAS PIMENTEL

## Í N D I C E

1. <u>OBJETIVO</u> .....	pag. 1
2. <u>RESUMO</u> .....	pag. 2
3. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	pag. 4
3.1 - CAL AÉREA .....	pag. 4
3.2 - CAL HIDRAÚLICA .....	pag. 5
3.3 - CIMENTOS POZOLÂNICOS .....	pag. 6
3.4 - AREIA NORMAL .....	pag. 7
4. <u>MÉTODO DE ENSAIO</u> .....	pag. 8
4.1 - ANÁLISE DA CAL .....	pag. 8
4.2 - RESISTÊNCIA COMPRESSÃO SIMPLES .....	pag. 8
4.2.1 - PREPARAÇÃO DA AREIA NORMAL .....	pag. 8
4.2.2 - MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA .....	pag. 8
4.2.3 - REMOÇÃO DAS FÔRMAS .....	pag. 10
4.2.4 - CURA .....	pag. 10
4.2.5 - CAPEAMENTO .....	pag. 10
4.2.6 - RUTURA DOS CORPOS DE PROVA .....	pag. 10
5. <u>CÁLCULO E RESULTADOS</u> .....	pag. 12
5.1 - ANÁLISE DA CAL .....	pag. 12
5.2 - TABELAS RESUMO DOS ENSAIOS .....	pag. 12
5.3 - GRÁFICOS (ANEXOS) .....	pag. 14
6. <u>COMENTÁRIOS</u> .....	pag. 15
7. <u>CONCLUSÃO</u> .....	pag. 16
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	pag. 18

OBJETIVO - I

ESTÁGIO SUPERVISIONADO: LABORATÓRIO DE SOLOS II

I - OBJETIVO

Estudar a possibilidade, de se substituir parte de cimento por determinada cal, na confecção de argamassa e concreto.



RESUMO - II

## 2. RESUMO:

Os estudos realizados no laboratório de solos II, consistiram-se na verificação da resistência à compressão simples, de diversos corpos de prova moldados, com a mistura da cal a ser analisada e cimento pozolânico, como aglomerante e areia normal como agregado.

Foi fixado a utilização da areia normal visto que se desejava no trabalho executado a influência do aglomerante cal na resistência da argamassa quando substituída parte do cimento.

Para verificação da influência da cal sobre a resistência da argamassa foram adotados vários tipos de cura bem como várias porcentagens de cal, como mostra a tabela a seguir:

CIMENTO %	CAL %
100	-
-	100
10	90
20	80
40	60
60	40
80	20

Para todas estas porcentagens foram feitos corpos de prova para serem rompidos com, 3, 7 e 28 dias.

Em seguida rompe-se os corpos de prova de acordo com o tempo de cura e anota-se seus valores que serão comparados com os resultados do cimento puro para saber-se é viável a su



Substituição do cimento por parte de cal.

Para elaboração dos ensaios foram seguidas as normas da ABNT no seu método de ensaio. MB-1.

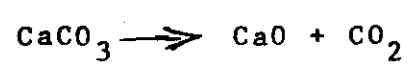
**III - INTRODUÇÃO**

3. INTRODUÇÃO:

3.1 - CAL AÉREA.

A matéria prima, para sua fabricação é o calcário (Carbonato de Cálcio) com teor desprezível de argila.

Fazendo-se o cozimento a uma temperatura de 900°C obtém-se a dissociação do calcário, produzindo-se óxido de cálcio e gás carbonico.

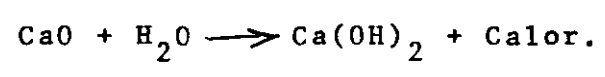


A cal é considerada aérea quando a relação (r) entre os componentes argilosos e a cal é inferior a 0,1.

$$r = \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO}} < 0,1$$

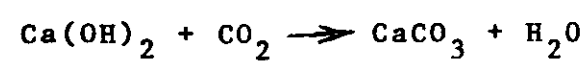
O produto que se obtém da calcinação é a cal virgem ou viva. Combinando-se este material com água temos a cal extinta.

A hidratação se faz com grande desprendimento de calor:



Nessa operação, que se chama de extinção da cal, as pedras ficam reduzidas a pó finissimo, que se transforma em pasta se a quantidade de água for em excesso.

A pasta, uma vez utilizada, seca e endurecida pela combinação do CO<sub>2</sub> do ar com o hidroxido que se verifica em presença da água, a qual dissolvendo a cal e o CO<sub>2</sub> funciona como catalizador.





Podemos classificar as cales pela composição química, teremos cales cálicas com um máximo de 20 % de MgO e magnesianas com um mínimo de 20 % de MgO.

As resistências que se obtém com argamassas são da ordem de 2 a 5 kgf/cm<sup>2</sup> à tração e de 10 a 30 kgf/cm<sup>2</sup> à compressão, para 28 dias.

### 3.2 - CAL HIDRAULICA:

Nas cales hidráulicas, feita a análise química com a determinação da cal, da sílica, da alumina e do óxido de ferro, a relação entre os componentes argilosos e a cal é a seguinte:

$$0,10 \leq \frac{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO}} \leq 0,50$$

COZIMENTO: Do calcário argiloso põe em liberdade a CaO, como no caso da cal aérea, mas uma parte dele combina-se com os componentes argilosos, formando silicatos e aluminatos de cálcio.

EXTINÇÃO: A adição de água deve ser feita com cuidado, de modo que o excesso não possa combinar-se com os silicatos e aluminatos referidos.

Na extinção ocorre a pulverização das pedras, não sendo necessário fazer-se a moagem mecânica.

A extinção pode ser feita por imersão, aspersão ou extinção mecânica.

Para ser utilizada como aglomerante, a cal hidráulica é misturada com água, e o endurecimento da pasta resulta de dois tipos de reação. O hidróxido de cálcio livre combina-se com o CO<sub>2</sub> do ar, e os compostos de cal e argila hidratam-se forman

do produtos insolúveis que colocam o aglomerante na classe' dos hidráulicos.

Os responsáveis pela pega são os aluminantes de cálcio.

Uma argamassa de traço 1:3 em peso, feita com cal fracamente hidráulica, depois de 28 dias da resistência da ordem de 5 kgf/cm<sup>2</sup> a tração e 25 kgf/cm<sup>2</sup> a compressão.

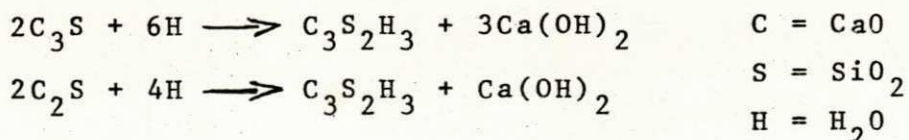
Nas eminentemente hidráulicas estas resistências são respectivamente 15 a 50 kgf/cm<sup>2</sup>.

### 3.3 - CIMENTOS POZOLÂNICOS:

São cimentos portland aos quais se adicionam uma certa quantidade de pozolana.

As pozolanas não tem por si propriedades aglomerantes mas possuem a propriedade de fixar a cal liberada na hidratação do cimento portland.

Quando da hidratação do cimento os compostos. C<sub>3</sub>S e C<sub>2</sub>S liberam Ca (OH)<sub>2</sub>.



A função das pozolanas é de fixar a cal sob forma insolúvel, para impedida de reagir ou dissolver-se.

Tem-se com isto valores baixos de resistência para pequenas idades, devido o processo de reação, pozolanas e Ca(OH)<sub>2</sub> ser centro e após 90 dias aumento da resistência como mostra a tabela seguinte:

O cimento tipo 320 (comum), apresenta a seguinte resistência:

TABELA - 1

IDADE (DIAS)	RESISTÊNCIA (KGF/cm <sup>2</sup> )
3	100
7	200
28	320



Para o cimento pozolanicos tipo 320, obtemos os seguintes resultados:

TABELA - 2

IDADE (DIAS)	RESISTÊNCIA (KGF/cm <sup>2</sup> )
3	70
7	160
28	272
90	352

#### 3.4 - AREIA NORMAL:

A areia utilizada para o preparo da areia normal foi proveniente do Rio Paraíba, utilizado nas obras do aeroporto de João Pessoa. Analizada esta areia esta apresenta-se de acordo com as especificação de areia para concreto.



IV - METODO DE ENSAIO

#### 4. MÉTODO DE ENSAIO:

##### 4.1 - ANÁLISE DA CAL:

A cal a ser utilizada , foi ensaiada de acordo com o método adotado pela ABNT no que diz respeito a determinação do residuo insolúvel, perda ao fogo e do teor de CaO, MgO e dos componentes argilosos.

##### 4.2 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES:

###### 4.2.1 - PREPARAÇÃO DA AREIA NORMAL:

A areia empregada na confecção da argamassa de ensaio, foi uma areia graduada, chamada de areia normal.

Para obter esta areia seguimos os seguintes itens:

- Lavagem da areia
- Secagem ao ar
- Peneiramento através da seguinte série de peneiras: 2,4 ; 1,2; 0,60; 0,30 e 0,15.

A sua composição granulométrica consta de: 25 % dos materiais retidos entre as peneiras 2,4 e 1,2; 1,2 e 0,6; 0,60 e 0,30 e 0,30 e 0,15.

###### 4.2.2 - MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA:

###### 1 - TIPO DE TRAÇO DA ARGAMASSA:

A argamassa deve ser de consistência normal e de traço em peso de 1:3 com fator de água cimento  $X = 0,48$  que deve ser tal que deixe a argamassa com consistência normal.

Para a moldagem de 1 corpo de prova, deve-se utilizar:

- Aglomerante - 100g
- Areia normal - 300g
- Água - 48 ml

## 2. FORMAS PARA MOLDAGEM:

As formas para moldagem, são metálicas de formato cilíndrico, com dimensão de, 10 + 0,2 cm de altura e 5 + 0,1 cm de diâmetro. E devem ter espessura suficiente para não se deformarem durante a moldagem dos corpos de prova e com o uso. As bordas em esquadro com a superfície lateral interna.

## 3. PREPARAÇÃO DAS FORMAS:

Antes de aperta-se o anel da fôrma, a mesma deve ser untada na parte interna e na base com uma leve camada de óleo. Em seguida aperta-se fortemente o parafuso do anel. Colocando-se em seguida a fôrma sobre a base.

Aplica-se agora uma camada de parafina derretida entre a base e a parte inferior do cilindro para garantir a estanqueidade.

## 4. PROCEDIMENTO DA MOLDAGEM:

O recipiente que contém a argamassa, deve estar junto as formas durante o amassamento, a moldagem dos corpos de prova deve ser realizada logo após o amassamento e com a maior rapidez possível.

Coloca-se em seguida, com auxílio da espátula a argamassa nos corpos de prova sendo que, em quatro camadas de altura aproximadamente iguais, devendo cada camada receber trinta golpes do soquete padrão em queda livre a uma altura apro

ximada de 10cm.

Quando esta operação for terminada deve-se rasar o tampo do corpo de prova por meio de uma régua, que o operador fará deslizar sobre os bordos da fôrma, em direção normal a régua, dando-lhe também, um ligeiro movimento de vaivem.

#### 4.2.3 - REMOÇÃO DAS FÔRMAS:

Decorridos 24 horas da moldagem, os corpos de prova devem ser retirados da fôrma.

Desapertando-se a cinta da fôrma e fazendo-o deslizar, na mesma, com cuidado para não afetar os bordos do mesmo.

#### 4.2.4 - CURA:

Após a desmoldagem dos corpos de prova leva-os para a câmara úmida e os distribui em 2 tipos de cura: ao AR e IMERSÃO.

Os corpos de prova permanecerão em cura durante o nº de dias, que poderão ser 3, 7 e 28 dias.

#### 4.2.5 - CAPEAMENTO:

Este capeamento é feito com a finalidade de deixar a superfície do corpo de prova mais uniforme, para melhorar a distribuição das tensões na hora da rutura.

O capeamento foi feito com uma mistura de enxofre e cimento, aplicado nas bordas do corpo de prova.

#### 4.2.6 - RUTURA DOS CORPOS DE PROVA:

##### 1 - CORPOS DE PROVA:

Após a moldagem dos diversos corpos de prova foram rea

lizadas as ruturas, obedecendo as suas idades de rutura.

Para isto primeiro retiramos os corpos de prova da camera umida, e secando com um pano, aqueles que estavam em cura de imersão, então os corpos de prova devem ser levados para o capeamento.

Onde deverão perder qualquer irregularidade existente, com o objetivo de bem distribuir a carga de compressão.

## 2. CENTRAGEM DOS CORPOS DE PROVA:

Os corpos de prova tem que estar bem centrados no prato da máquina, para que a carga seja bem distribuída.

## 3. VELOCIDADE DE SOLICITAÇÃO:

As velocidades de solicitação aplicadas pela prensa nos corpos de prova devem ser pequenas e constantes aproximadamente 2,5 kg por  $\text{cm}^2$  por segundo.

## 4. RUTURA:

Após as operações anteriores os corpos de prova eram rompidos, e considera-se como carga de rutura, a carga máxima em kg indicada pelo ponteiro do dinamometro da máquina.

Como durante a moldagem os corpos de prova eram numerados de acordo com um nº de ordem, foram feitas tabelas com o nº de corpos de prova e a carga de rutura obtida para o mesmo, com estes dados calculamos a resistência a compressão simples para cada um em  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

V - CALCULOS E RESULTADOS



## 5. CÁLCULOS E RESULTADOS:

### 5.1 - ANÁLISE DA CAL:

Perda ao fogo : 30,02 %  
 Resíduo insolúvel: 3,30 %  
 Silica (SiO<sub>2</sub>) ..: 2,76 %  
 Óxido de ferro (FeO<sub>3</sub>): 0,12 %  
 Alumínio (AlO<sub>3</sub>) : 0,63 %  
 Cal (CaO) :.....: 62,50 %  
 Magnésio (MgO) ..... 0,61 %

#### 5.1.1 - CÁLCULO DO ÍNDICE DE VICAT (r)

$$r = \frac{\% \text{ SiO}_2 + \% \text{ Al}_2\text{O}_3 + \% \text{ Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{ CaO}}$$

$$r = \frac{2,76 + 0,63 + 0,12}{62,50} = 0,0562$$

Logo  $r = 0,0562 < 0,1$  portanto é uma Cal Aérea.

OBSERVAÇÃO: como MgO = 0,61 % é também uma Cal Cálctica.

### 5.2 - TABELAS RESUMO DOS ENSAIOS:

Estas tabelas representam, a medida de valores encontrados para as resistências a compressão simples, para as diversas idades, curas e percentagens de cal.

TABELA - 3

CURA MATERIAL		I MERSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )	AR (kgf/cm <sup>2</sup> )
cimento (100%)		93,00	-
CAL (100%)		0,00	4,30
% CIMENTO	10	4,60	4,60
	20	14,80	13,80
	40	63,00	53,30
	60	72,00	71,00
	80	87,00	91,00

TABELA - 4 IDADE 7 DIAS

CURA MATERIAL		IMERSÃO (kgf/cm <sup>2</sup> )	AR (kgf/cm <sup>2</sup> )
cimento (100%)		189,00	-
CAL (100%)		-	1,40
% CIMENTO	10	21,00	6,50
	20	38,00	20,10
	40	75,80	69,00
	60	117,00	113,00
	80	163,00	162,5

TABELA - 5 - IDADE 28 DIAS

CURA		IMERSÃO	AR
MATERIAL		(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )
cimento (100%)		290	-
CAL	(100%)	-	8,80
% CIMENTO	10	62,00	12,60
	20	87,00	38,70
	40	110,80	97,80
	60	154,00	159,00
	80	222,00	178,00

## 5.3 - GRÁFICOS (ANEXOS)

Com os dados das tabelas acima, foram feitos 4 gráficos para melhor poder observar, os efeitos das variações da porcentagem de cal sobre a resistência da argamassa.

Eles são os seguintes:

Fig. (1) Resistência a compressão simples Vs tempo de cura para vários teores de cimento: Cura ao Ar.

E

Resistência à compressão simples Vs tempo de cura para vários teores de cimento: Cura Imersão.

Fig. (2) Resistência à compressão simples Vs teor de cimento com 3,7 e 28 dias: Cura ao Ar.

E

Resistência à compressão simples Vs teor de cimento com 3,7 e 28 dias p/Cura Imersão.

VI - COMENTÁRIOS

C O M E N T Á R I O S

Os valores apresentados nas tabelas resumo dos ensaios 1, 2 e 3 representam a média de 6 corpos de prova ensaiados.

As vezes obtem-se duas médias diferentes, para as mesmas condições de teor de cimento neste caso pegou-se o valor mais provável das duas. Isto provavelmente foi devido ao processo utilizado para o capeamento dos corpos de prova, visto que foi utilizado o aparelho p/capeamento de corpo de prova de concreto.

VII - CONCLUSÃO



## 7. ~~CONCLUSÃO~~

Segundo os resultados obtidos, podemos concluir os seguintes aspectos:

7.1 - A cal analisada apresentou resistência, quando imersa em água, praticamente nula, isto vem confirmar o resultado da análise química, de que a cal é uma Cal Aérea.

7.2 - Apesar de que o cimento utilizado neste trabalho trabalho tratar-se de um cimento pozolânico, este apresentou resistências superiores aos valores teóricos, apresentados na tabela 2.

Isto deve ocorrer devido ao fato de que na fabricação dos diversos tipos de cimento, procura-se sempre melhorar suas características, pois os valores apresentados como teóricos são sempre valores mínimos de resistência, os quais não deve o cimento apresentar valores inferiores mas podendo apresentar valores superiores.

Por outro lado, quando comparando com o portland comum este apresentou menores resistências, como era esperado.

7.3 - Os tipos de cura empregado, não influi muito nas resistências dos corpos de prova, já que a cura ao ar foi feita em camara úmida (ar saturado).

E devido a este fator a hidratação do cimento foi facilitada.

7.4 - Qualquer que seja o processo de cura empregado verificou-se que:

- A resistência aumenta com o teor de cimento.
- A resistência aumenta com a idade de cura.

7.5 - Concluimos portanto que a cal aérea não apresenta 'valores satisfatórios de resistência, como podemos verifi

car pelas tabelas 3, 4 e 5 pois quanto maior o teor de cal menores valores de resistências são encontrados.

E conseqüentemente sem condição de substituir o cimento.

VIII - BIBLIOGRAFIA

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Materiais de Construção  
Eladio G.R. Petrucci.
- Concreto de Cimento Portland  
Eladio G.R. Petrucci.
- Notas de Aula da Cadeira Materiais de Construção  
Profº : Roberto Vasconcelos Costa
- Apostila: Cimento e Concreto do Curso de Materiais  
de Construção.
- Normas da ABNT no seu método de ensaio MB-1.

A N E X O S

R  
(kgf/cm<sup>2</sup>)

250

270

180

200

90

28 DIAS

7 DIAS

3 DIAS

150

R  
(kgf/cm<sup>2</sup>)

10

20

40

60

80

100% DE  
CIMENTO

300

270

100

180

90

28 DIAS

7 DIAS

3 DIAS

50

10

20

40

60

80

100% DE  
CIME.

fig 2

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES VS TEOR DE CIMENTO  
P/ 3, 7 e 28 DIAS: CURA AO AR

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES VS TEOR DE CIMENTO.

P/ 3, 7 e 28 DIAS: CURA IMERSA



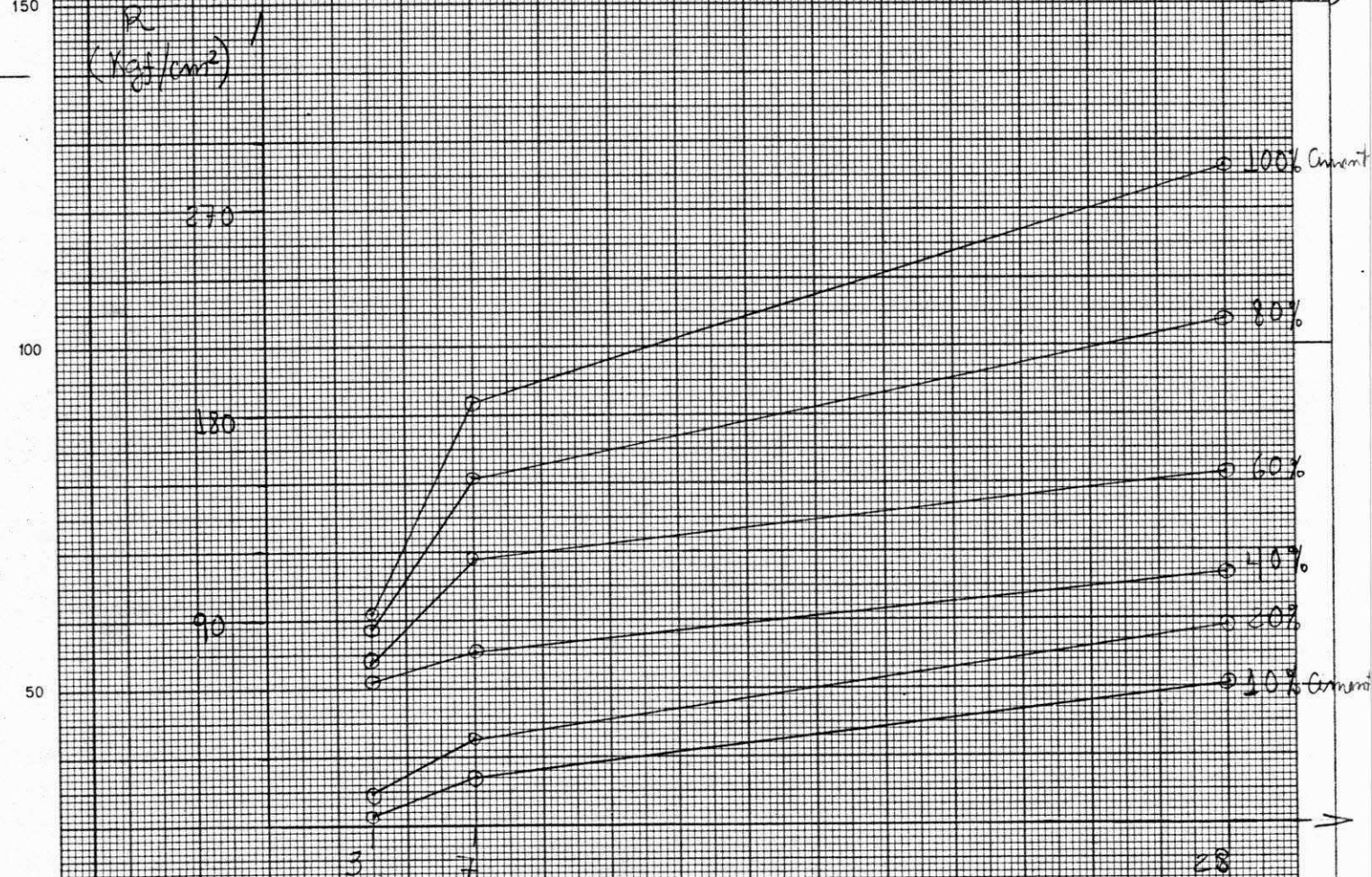
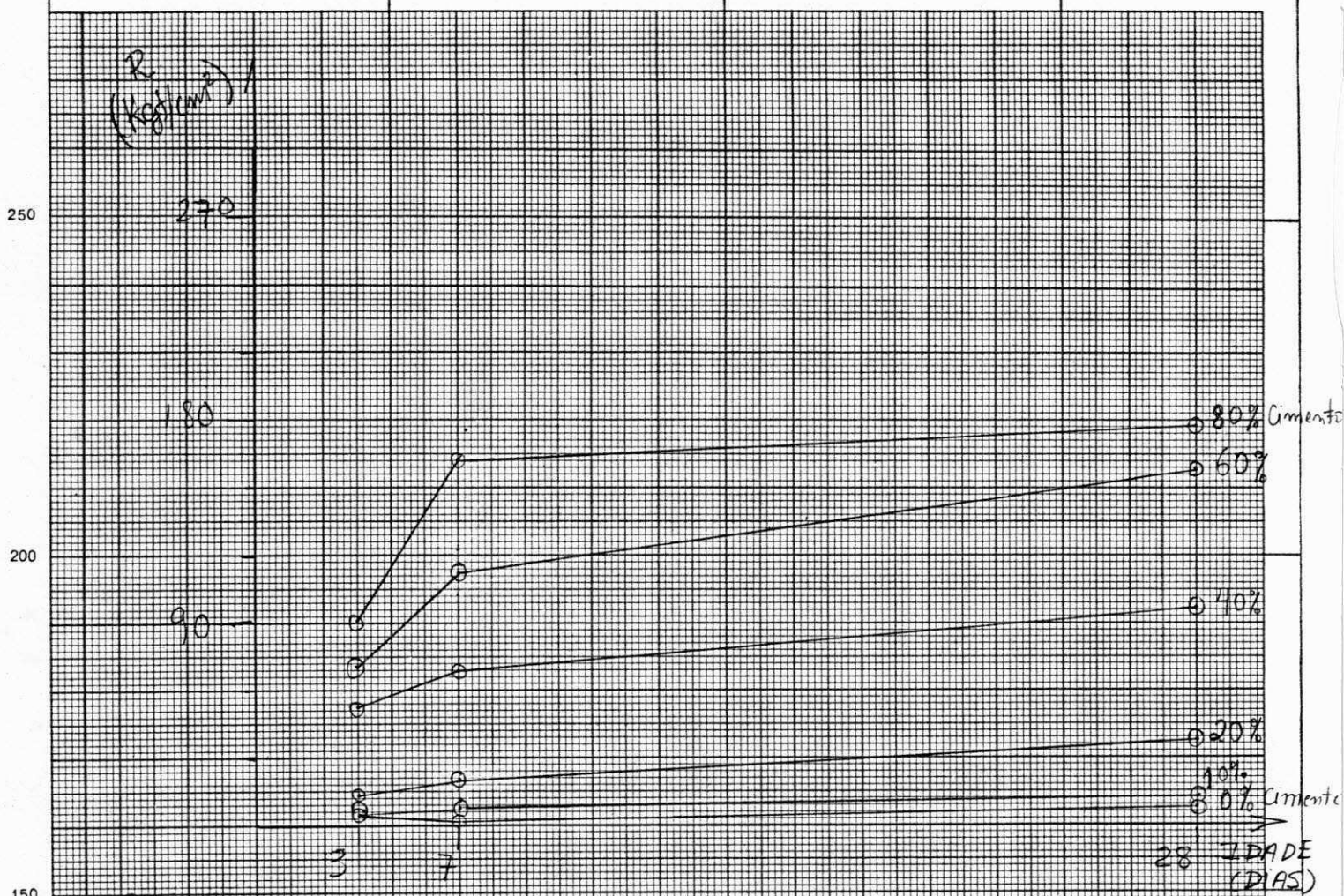


Fig 1) RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES VS TEMPO DE CURA P/ VÁRIOS TEORES DE CIMENTO; CURA AO AR.  
 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES VS TEMPO DE CURA P/ VÁRIOS TEORES DE CIMENTO; CURA INVERSA