

[REDACTED]

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
RELATÓRIO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO,
REALIZADO DURANTE OS MESES DE SETEMBRO
E OUTUBRO PELA ALUNA:
TERCIA LÊDA BELTRÃO TIBURCIO
ASSUNTO: ENSAIO TRIAXIAL E ESTUDO DA
ESTABILIZAÇÃO DO SOLO LATERÍTICO C/ CAL.

[REDACTED]



Biblioteca Setorial do CDSA. Agosto de 2021.

Sumé - PB

O presente relatório, realizado pela aluna TERCIA LÊDA BELTRAO TIBURCIO, sob a supervisão do professor Cícero Ciro de Albuquerque Braga, pelo Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, é objeto do requisito para obtenção dos créditos correspondentes ao estágio supervisionado no laboratório de solos II, contém teoria, dados, gráficos e análises com resultados de ensaios triaxiais realizados no laboratório e pela aluna acima citados.

Ilmo. Sr. Coordenador do Curso de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - Pb.

TERCIA LÊDA BELTRAO TIBURCIO, aluna regularmente matriculada no Curso de Engenharia Civil deste Centro, sob o nº de inscrição 7611206-2, com estágio supervisionado no Laboratório de Solos II, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande, solicita que Vossa Senhoria se digne apreciar o seu relatório a nexu, bem como o parecer do professor deste Centro, Cícero Ciro de Albuquerque Braga sobre o referido estágio; solicita também que o mesmo seja encaminhado a quem de direito, para a atribuição do devido conceito e que se for o caso seja feita a contagem dos créditos correspondentes.

Nestes Termos
Pede Deferimento.

Campina Grande, 30 de outubro de 1979.

Tercia Leda B. Tiburcio
TERCIA LÊDA BELTRAO TIBURCIO



1) INTRODUÇÃO

Com o aumento considerável da construção de rodovias em países tropicais, foi necessário se estudar os materiais locais. Entre esses temos as lateritas, as quais já eram conhecidas, que precisavam ser estudadas para que se pudesse obter melhores resultados - quanto ao seu emprego.

O nosso território ocupa em grande parte uma região tropical, onde a formação do solo é influenciada por vários processos de intemperismo, resultando num material heterogêneo, rico em sesquióxido de ferro e alumínio. Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de esclarecer melhor a origem dos solos lateríticos, visto que é essa a parte mais controversa.

Fatores como: composição da rocha mãe, características morfológicas, grau de intemperismo, composição química e mineralógica, formação do solo e condições do meio ambiente, exercem grande influência nas propriedades de engenharia dos solos vermelhos tropicais.

2) PRINCÍPIO DAS TENSOES EFETIVAS

A diferença entre as características de cisalhamento de uma areia e de uma argila não consiste muito na diferença entre as propriedades friccionais das partículas componentes, mas na diferença muito ampla na permeabilidade (quase que um milhão de vezes).

A variação nas tensões aplicadas a uma argila saturada não é o bastante para provocar mudança na componente friccional de resistência até que um tempo suficiente tenha decorrido para a água sair ou entrar; assim que a mudança de volume esperado possa ocorrer.

Sabe-se que o solo é constituído de elementos sólidos, água que circula ou não entre os grãos e gás. O princípio das tensões efetivas de Terzaghi é válido para o caso de um fluido preenchendo todos os vazios do solo (solo saturado).

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

σ' = tensão efetiva

μ = tensão neutra

σ = tensão total

São as tensões efetivas que controlam certos aspectos do comportamento dos solos, em particular a compressão e a resistência.

Já para os solos parcialmente saturados, uma forma mais geral da expressão deve ser usada visto que os vazios do solo contêm ar e água os quais podem estar em equilíbrio à pressão amplamente diferentes.

Uma tentativa de expressar a tensão efetiva nessas condições, tem sido sugeridas pela fórmula:

$$\sigma' = \sigma - \mu_1 + x (\mu_1 - \mu_2)$$

μ_1 = representa a pressão no ar dos vazios

μ_2 = representa pressão na água dos vazios

x = é um parâmetro que depende exclusivamente do grau de saturação do solo.

3) RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO

A resistência ao cisalhamento de um solo é a máxima pressão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer rutura, ou é a tensão de cisalhamento do solo no plano de rutura.

Como esse valor depende em grande parte das condições do ensaio, conclui-se que um solo não tem um único valor de resistência ao cisalhamento; muitos fatores influem, tais como: a pressão ambiente, a velocidade do ensaio, as variações de volume, a dissipação das pressões neutras, etc.

Quando uma amostra de solo é submetida a um carregamento, ela tende a deformar, sofrendo uma variação de volume. Se o solo está saturado e a drenagem não é feita, a água intersticial praticamente incompressível se opõe a essa variação de volume e aumento de pressão. Uma fração das tensões totais aplicadas (σ_1 e σ_3 no triaxial) à amostra está equilibrada pela pressão neutra u ($\sigma' = \sigma_1 - u$). No caso contrário, se as condições de drenagem são tais que a pressão neutra fica nula em qualquer momento do ensaio, as tensões totais são totalmente aplicadas sobre o corpo de prova e a tensão efetiva é igual à tensão total aplicada: $\sigma' = \sigma$. A resistência ao cisalhamento dos solos depende grande parte das tensões efetivas aplicadas no plano de ruptura, no momento da ruptura.

Por isso deve-se estudar o cisalhamento do solo sob diversas condições, as quais, devem se aproximar o máximo das condições reais na obra onde o solo será aplicado.

Por isso são definidos três tipos principais de ensaios de cisalhamento, variando-se as condições de drenagem durante a aplicação da pressão hidrostática ou de confinamento.

4) TIPOS DE ENSAIO TRIAXIAL:

a) Ensaio consolidado não drenado (ensaio rápido pré-adensado, adensado rápido, adensado sem drenagem ou ainda C.U. - consistência undrained).

É permitida a drenagem do corpo de prova (C.P.) somente - sob a ação da pressão confinante. Aplica-se a pressão confinante e espera-se que o cp. adense. A seguir fecham-se os registros de drenagem e a pressão axial é aumentada até a ruptura, sem que se altere a umidade do cp. As pressões medidas são totais.

b) Ensaio drenado (ensaio lento, adensado drenado ou C.D.- consistência drained).

Neste ensaio há permanente drenagem do cp. Aplica-se a pressão confinante e espera-se que o cp adense. A seguir, a pressão axial é aumentada lentamente, para que a água sob pressão possa percolar, até a ruptura. Desta forma, a tensão neutra durante o carregamento permanece praticamente nula e as pressões totais medidas

são pressões efetivas.

c) Ensaio não drenado lento com medida de pressões neutras.

Esse tipo de ensaio é realizado com corpos de prova compactados e saturados. Foram usadas as pressões confinantes de $1,0 \text{ Kg/cm}^2$ e $3,0 \text{ Kg/cm}^2$, aplicadas usando o aparelho de pressão de Bishop. Para os ensaios realizados no momento, foi usado o equipamento E.L.E. (Engineering Laboratory Equipment) possuindo o aparelho uma célula triaxial, preparada para medições das pressões neutras na amostra.

5) PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foi usado o solo laterítico de Nova Floresta. Determinou-se a umidade higroscópica do material no seu estado natural, da seguinte maneira: foi usada duas quantidades do material, e determinada sua umidade pelo método da estufa, à temperatura de 110 graus, tomei a umidade higroscópica como sendo a média das obtidas das duas amostras e a umidade obtida foi:

$$h_{\text{higroscópica}} = 2,31 \%$$

DISPERSAO ADMITIDA ?

Esta umidade foi determinada porque as amostras foram preparadas com o solo na umidade natural, e esta umidade foi considerada quando calculei a quantidade de água posta na amostra natural, para dar a esta a umidade requerida para o ensaio ou a umidade ótima que foi a usada nos cp.

Foram preparados 12 corpos de prova (cp) da seguinte maneira:

(vide o quadro seguinte)

- cp com solo puro: $\gamma_{\text{máx.}} = 2,14 \text{ g/cm}^3$
 $h_{\text{ótima}} = 13,3 \%$
- cp com adição de cal: $\gamma_{\text{máx.}} = 2,04 \text{ g/cm}^3$
 $h_{\text{ótima}} = 15 \%$

6) SEQUÊNCIA DA PREPARAÇÃO DOS cp:

a) Solo - Foi utilizado o solo no seu estado natural, ao qual se adicionou água para se chegar a umidade ótima do solo que foi determinada anteriormente, e valeu 13,3 %. O solo natural foi posto no misturador, e ele foi adicionado a quantidade apropriada de água destilada, feita a homogeneização por dois minutos no aparelho; a pós o 1º minuto foi revolvido manualmente e no 2º minuto foi posto novamente no misturador mecânico.

b) Solo com cal - O solo foi utilizado no seu estado natural, a cal foi retirada da embalagem e imediatamente pesada, assim como o solo de maneira a dar a mistura a % de cal desejada. Em seguida, solo e cal foram postos no misturador e revolvidos com a es pátula a fim de se ter uma mistura homogênea. Daí foi adicionada á gua destilada, em quantidade calculada para dar à mistura a umidade ótima de 15 %.

Para os cp com 5 % e 10 % de cal os procedimentos seguintes foram os mesmos para os cp com 0 % de cal, ou seja, os cp de solo puro.

c) Moldagem - Foi utilizado um molde cilíndrico de volume igual a $96,46 \text{ cm}^3$. A quantidade de solo preparado, homogeneizado, foi pesada de maneira que desse ao cp uma densidade de $2,14 \text{ gr/cm}^3$; no caso de solo com cal a densidade foi de $2,14 \text{ gr/cm}^3$.

CORPOS DE PROVA (cp)	γ (gr/cm ³)	UMIDADE h (%)	PERCENTAGEM DE CAL (%)	TENSÃO CONFINANTE σ_3 (gr/cm ³)	TEMPO (dias)
A	2,14	13,3	0	1	1
B	2,14	13,3	0	3	1
C	2,04	15,0	5	1	1
D	2,04	15,0	5	3	1
E	2,04	15,0	10	1	1
F	2,04	15,0	10	3	1
G	2,14	13,3	0	1	14
H	2,04	13,3	0	3	14
I	2,04	15,0	5	1	14
J	2,04	15,0	5	3	14
L	2,04	15,0	10	1	14
M	2,04	15,0	10	3	14

O molde possui duas braçadeiras apertadas afim de evitar a expansão durante a compactação do cp. Este molde foi pesado, colocou-se dois cilindros complementares, um de 65 mm e outro de 20 mm de comprimento. Na extremidade complementada com o menor deles foi posta uma base guia de ferro, para que se procedesse a compactação.

d) Compactação - Foi feita por meio de prensa hidráulica na velocidade de 0,1600 pol/min. A coluna de solo foi compactada inicialmente de 82,5 mm, controlada pela penetração do pistão. O cilindro complementar superior (maior) foi retirado e o cilindro principal contendo o solo é invertido passando a apoiar-se noutra base guia, e a compactação é então continuada até a altura de 76,2 mm do solo dentro do molde. Essa inversão é feita para evitar uma possível gradiente de compactação ao longo do cp. Depois da compactação, o molde principal foi pesado juntamente com o solo, retirado o cilindro complementar menor, colocou-se em cada extremidade um disco de papel de filtro e outro de fibra perfurada. Foi posto em cada extremidade uma conexão para evitar a expansão do cp durante a saturação e para fixar o molde ao conjunto.

e) Saturação - Logo após a moldagem, os cp foram postos num dissecador de vidro, contendo água destilada de maneira que ficasse submerso, e submetido ao vácuo (produzido) por uma bomba durante duas horas aproximadamente. Isto foi feito para retirar o ar do interior do cp. Após as duas horas o dissecador era aberto e o cp era deixado dentro d'água à pressão atmosférica por vinte e quatro horas. Os cp A, B, C, D, E e F, logo após as 24 horas foram rompidos. Os cp G, H, I, J, L e M, após as 24 horas foram postos numa câmara úmida de areia durante 14 dias (para conservar a umidade do cp) e depois rompidos da mesma maneira que os outros. Obs. O ensaio realizado para romper todos os cp foi o Ensaio sem drenagem com medida de pressões neutras, lento.

7) Rutura - O cp foi retirado do molde, colocou-se um filtro circular de papel de filtro apropriado, e pedra porosa em cada uma de suas extremidades; depois foi revestido por duas membranas finas de borracha e feita a vedação com anéis apertados de borracha, fixos nas pe

dras porosas. O conjunto foi posto então dentro da célula triaxial, ajustado o pistão, enchida a célula com água destilada, que transmitiu a pressão confinante ao cp durante o ensaio. (Determina-se então o parâmetro B do ensaio que deve ser: $0,95 \leq B \leq 1,0$). O sistema é então estabilizado da seguinte maneira: aplica-se a pressão confinante e espera-se que as colunas de mercúrio se igualem (pode ser feito com o nível de referência ou não). Depois espera-se mais 60 minutos para que o nível de referência fique estável com as colunas. Isso deve ser feito para se ter certeza que o cp está realmente saturado.

Após a estabilização, os extensômetros foram zerados, e se iniciou o ensaio à velocidade de 0,002 pol/min. Foram feitas as leituras necessárias (de acordo com a tabela padrão usada no laboratório), de T_1 , e das pressões neutras nas colunas de mercúrio, adaptadas à célula triaxial (H_1 e H_2).

8) CÁLCULOS:

Tendo-se as tabelas preenchidas, foi calculado $\sigma_1 - \sigma_3$ da seguinte maneira:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{T_1}{A} \times K$$

A = área (dada na tabela) → corrigida

K = constante do anel = 0,02903

(~~K/A = área corrigida~~)

As pressões neutras foram calculadas da seguinte maneira:

$$\mu = \frac{\Delta H}{100} = \frac{H_2 - H_1}{100}$$

9) GRÁFICOS

Foram traçados os gráficos $(\sigma_1 - \sigma_3) \times (E\%)$, isto é tensão versus deformação do cp. (gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6)

Depois foram traçados os gráficos tomando-se o valor máximo de $(\sigma_1 - \sigma_3)$ para cada caso, versus a % de cal (variando o tempo e a tensão confinante). (gráficos 7, 8).

Traçou-se os valores de $(\sigma_1 - \sigma_3)$ máximo versus tempo (variando a % de cal e a tensão confinante σ_3). (gráficos 9 e 10).

Finalmente foi traçado gráficos tomando-se também o valor máximo de $(\sigma_1 - \sigma_3)$ versus tensão confinante, para 0% e 5 % de cal, variando-se o tempo. (gráficos 11 e 12)

CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS GRAFICOS:

Nos gráficos $(\sigma_1 - \sigma_3)$ versus % cal, verificou-se que a resistência do solo cresce quando é adicionado 5 % de cal, apesar - de que nem sempre a resistência aumentou com o tempo, isto é, de 1 dia para 14 dias. Mas quando a % de cal é aumentada para 10 % a resistência cai (em relação ao cp com 5 %) a um dia, aumentando posteriormente passados os 14 dias. Conclusão: com 5 % de cal a resistência não cresce regularmente com o tempo; com 10 % de cal, deve-se considerar se é requerida uma resistência maior com vários dias, não importando a inicial.

Nos gráficos $(\sigma_1 - \sigma_3)$ versus tempo, verificou-se que a resistência não cresce com a % de cal e o tempo paralelamente. Pode-se apenas dizer que aos 14 dias a resistência cresce com a quantidade de cal adicionada, mas não necessariamente com relação ao 1º dia. Seria necessário realizar mais ensaios para se ter um melhor resultado, pois ocorreu que quando $\sigma_3 = 1,0 \text{ kg/cm}^2$ a resistência do solo diminuiu um pouco do 1º para o 14º dia, o que não tem sentido, pois aos 14 dias o solo já está mais bem "arrumado", ou seja, o cp já tem uma estrutura mais bem consolidada (a reação com a cal já foi bem processada) e deveria ser mais resistente. Deve ter ocorrido falhas durante o ensaio, de medição ou de leitura, e os ensaios deveriam ser repetidos diversas vezes para se ter uma conclusão.

Nos gráficos $(\sigma_1 - \sigma_3)$ versus deformação, verificou-se na maioria dos casos que a partir de um certo valor de $\sigma_1 - \sigma_3$ (valor máximo adotado para se traçar os outros gráficos), ocorreu a ruptura

do cp, e a partir daí a deformação continuou aumentando sem que se aumentasse a força aplicada.

Apesar desses comentários (feitos só a título de analisar um pouco os gráficos) não posso tirar uma conclusão consciente pois não ocorreu uma sequência lógica dos resultados. Posso concluir apenas que a resistência do solo aumenta quando se adiciona-se cal, mas este crescimento não é uniforme com o tempo, deveria ocorrer o crescimento da resistência com o tempo e a % de cal, pois esta estabiliza o solo, e o decorrer do tempo permite uma melhor acomodação das partículas do solo entre si.

B I B L I O G R A F I A

- Mecânica dos Solos (Milton Vargas)
- Mecânica dos Solos (Caputo)
- Apostila sobre ensaio triaxial

AMOSTRA 5% cal VELOCIDADE.....

σ_3 3 kg/cm² σ_1

σ_3

UMIDADE..... 15% OBS:

C.P. "D"

COMPRIMENTO.....

12.09.79

DIÂMETRO.....

CONST. DO ANEL.....

DEF.	T ₁	ÁREA	$\sigma_1 - \sigma_3$	DEF(%)
0	-	1.977	-	0,0
5	9,0	1.979		0,162
10	57,2	1.983		0,333
15	151,0	1.986		0,500
20	211,5	1.989		0,667
25	247,0	1.993		0,833
30	262,2	1.996		1,000
45	295,0	2.006		1,500
60	319,0	2.016		2,000
75	339,0	2.027		2,500
90	350,0	2.037		3,000
105	362,5	2.048		3,50
120	373,5	2.058		4,000
135	380,0	2.069		4,500
150	385,0	2.080		5,000
165	389,0	2.091		5,500
180	388,9	2.102		6,000
210		2.125		7,000
240		2.148		8,000
270		2.172		9,000

DEF.	H ₁	H ₂	ΔH	
15	58,4	62		
20	57,2	63,2		
25	55,6	64,5		
30	54,9	65,4		
45	51,2	68,9		
60	46,8	72,8		
75	43,7	76,0		
90	40,2	79,5		
105	36,7	83,1		
120	33,6	86,2		
135	30,7	89,0		
150	27,5	92,2		
165	25,0	94,8		
180	22,6	97,0		
210				
240				
270				

GRAFICO 1

0% cal - h. 13,3% - w. 24h → A u C

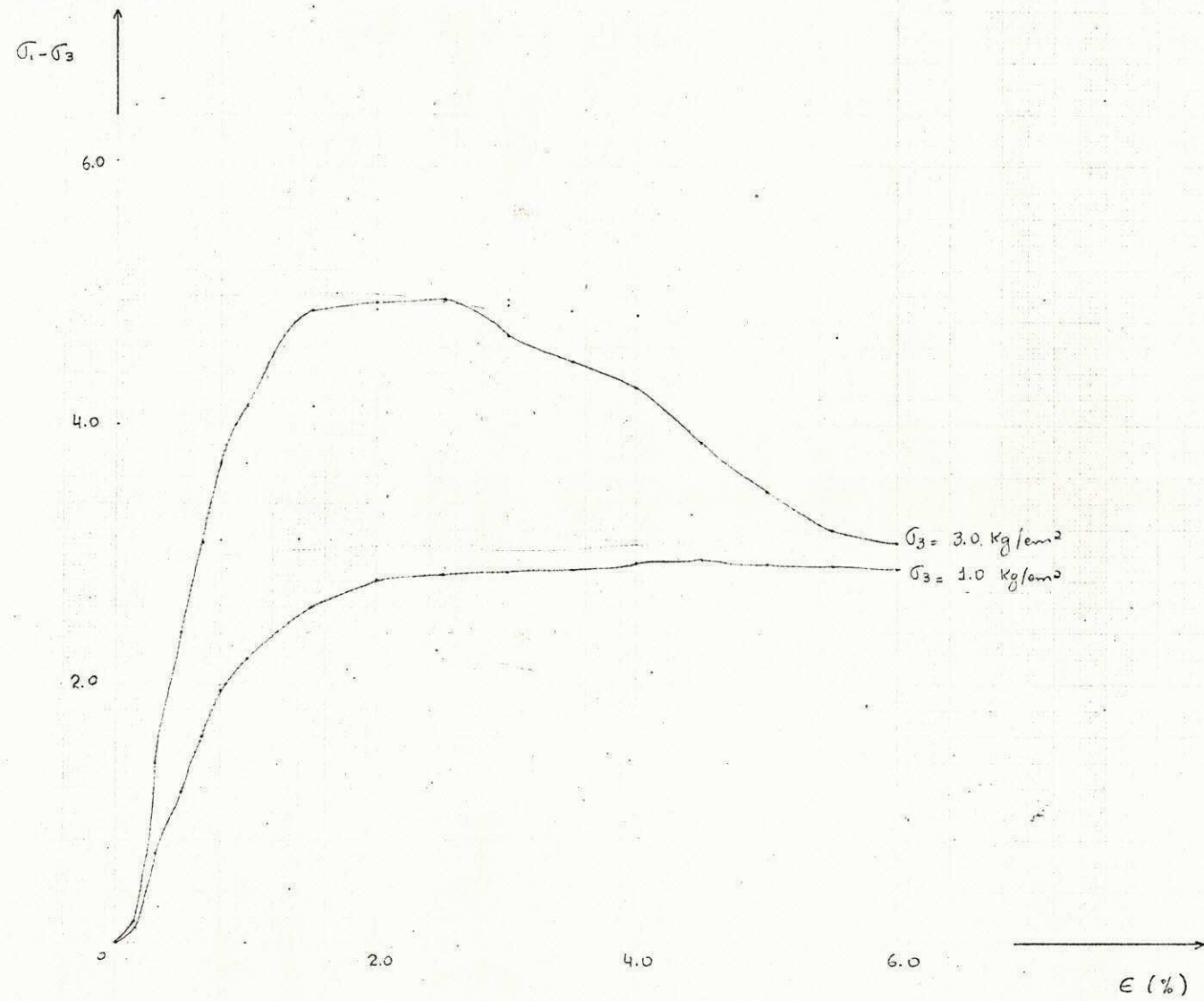


GRAFICO 2

5% cal - 24h.

C e D

$\sigma_1 - \sigma_3$
kg/cm²

10.0

9.0

8.0

7.0

6.0

5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

0

1.0

2.0

3.0

4.0

5.0

6.0

ϵ %

$\sigma_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$

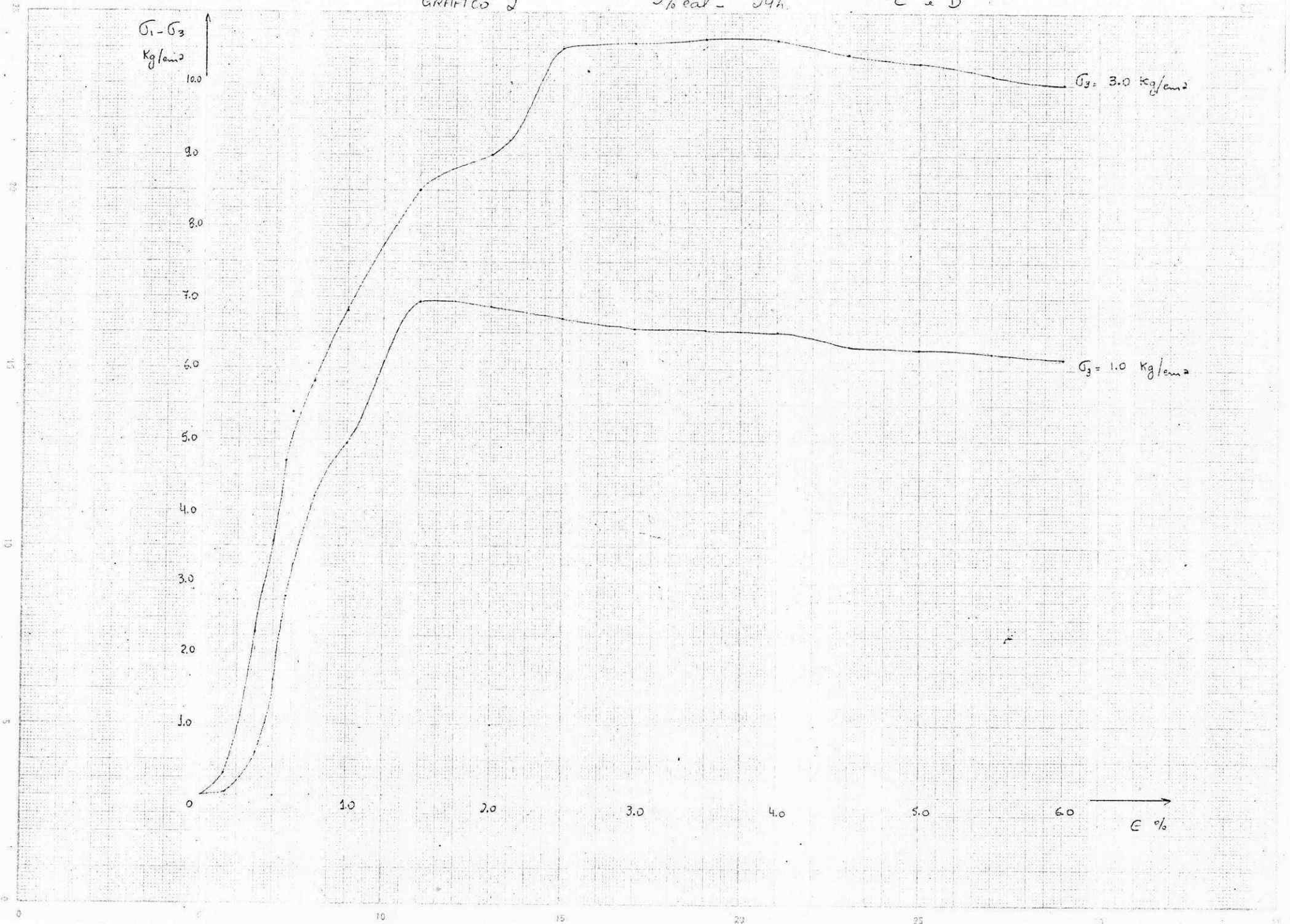


GRÁFICO 3

10% cal - h = 15% - $\Delta u_h \Rightarrow E \cdot F$

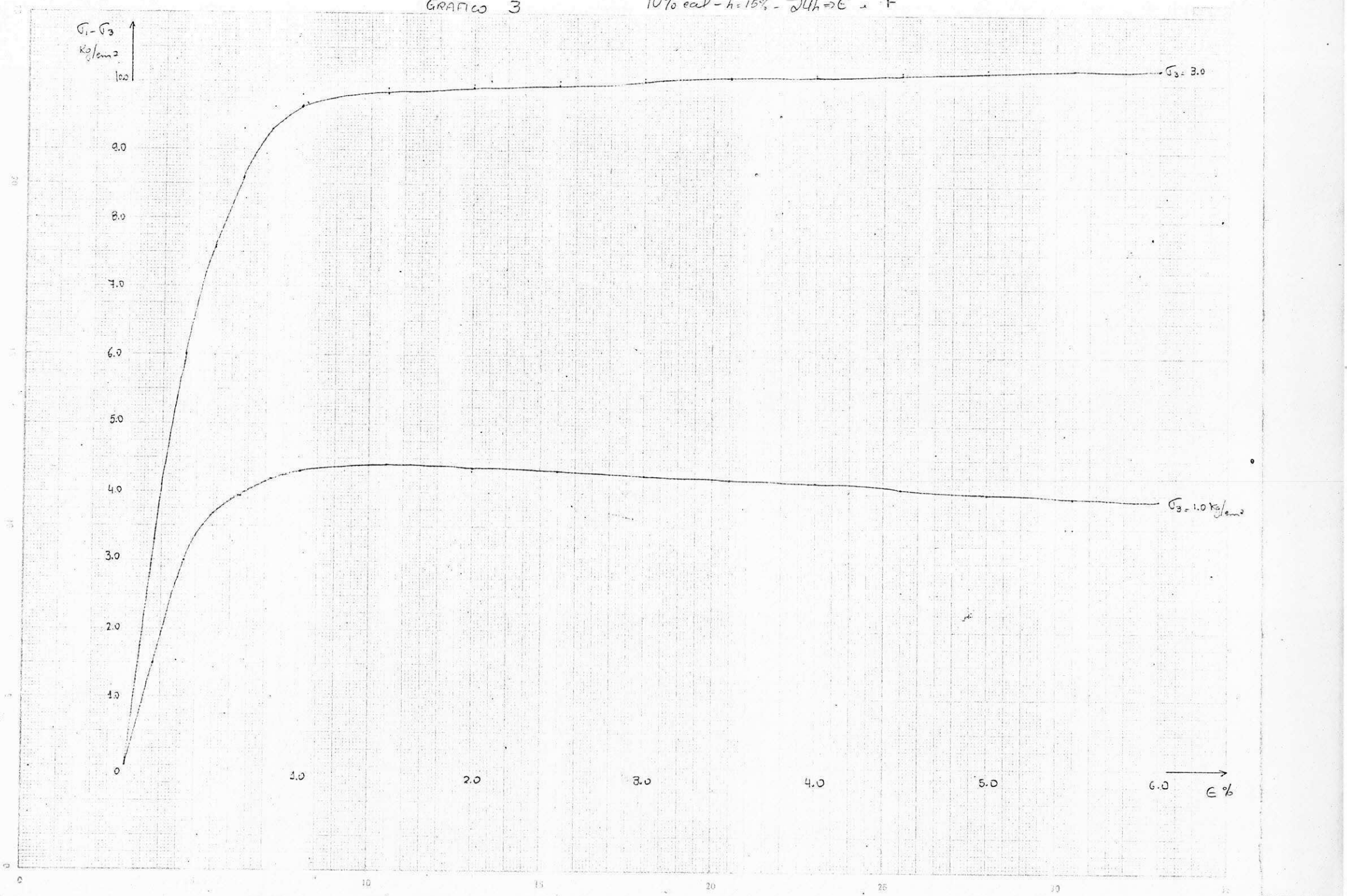
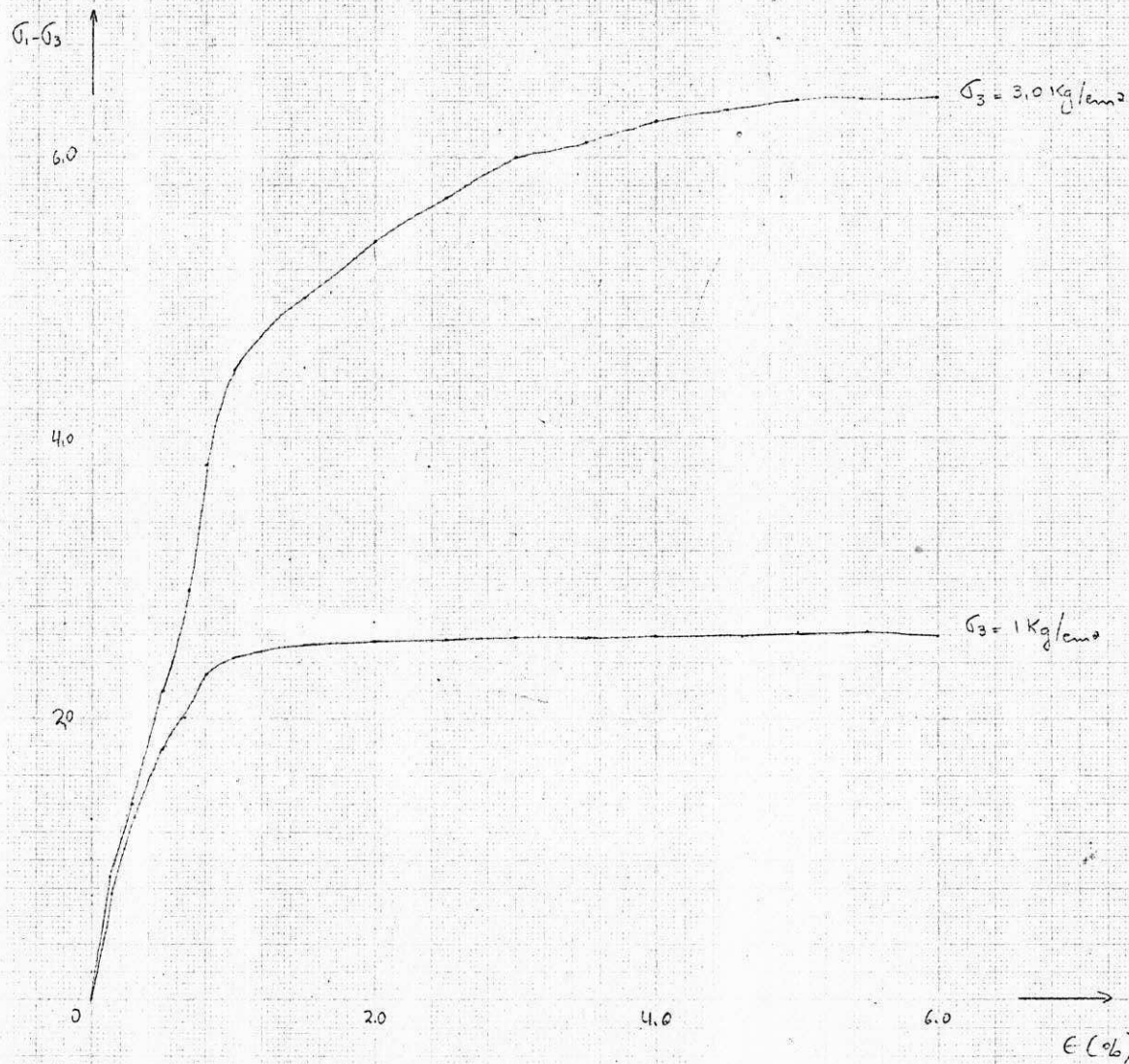


GRÁFICO 4

0% eal - 14 dias

G_u H



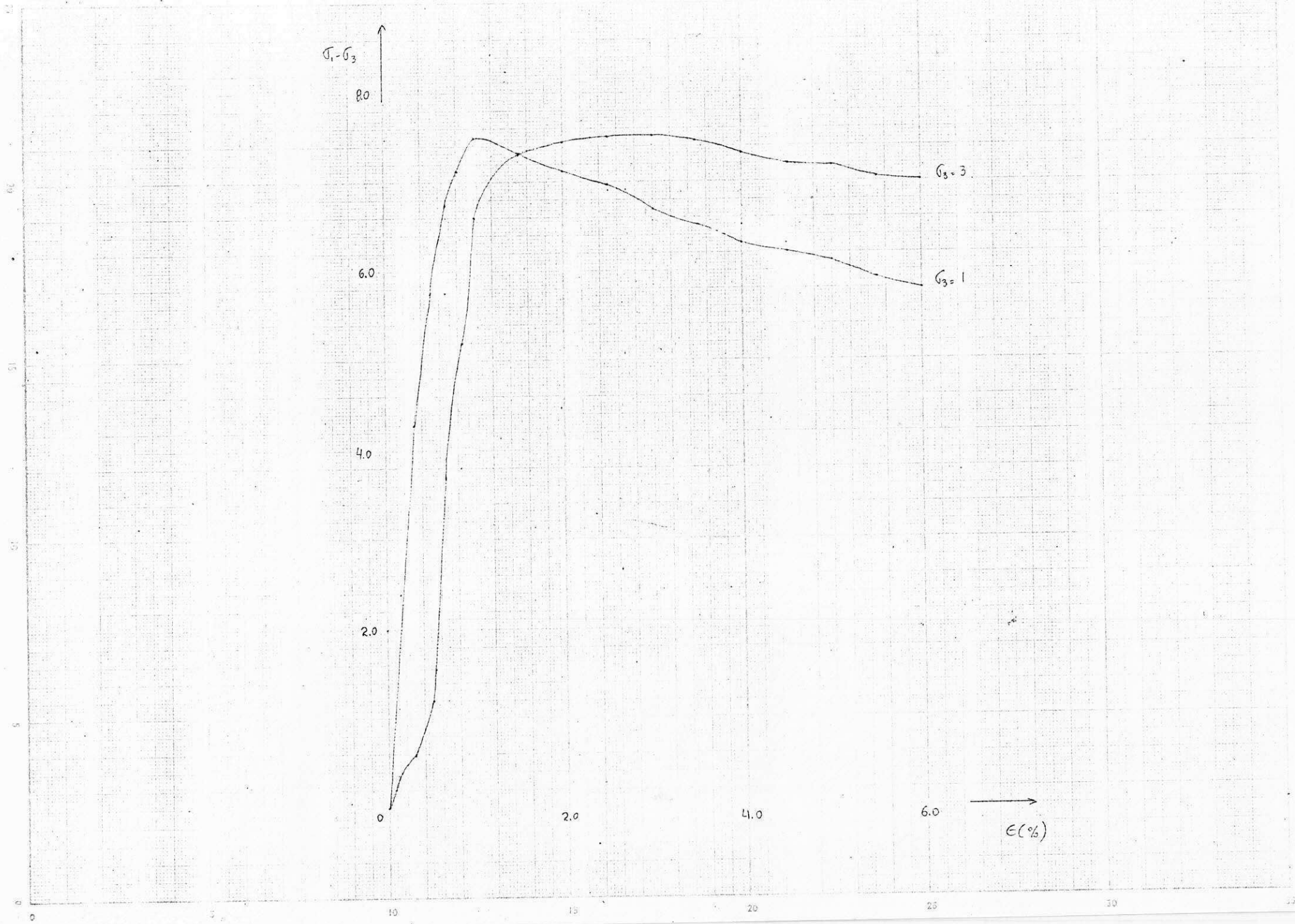


GRÁFICO 6

10% cal - 14 días - L. M

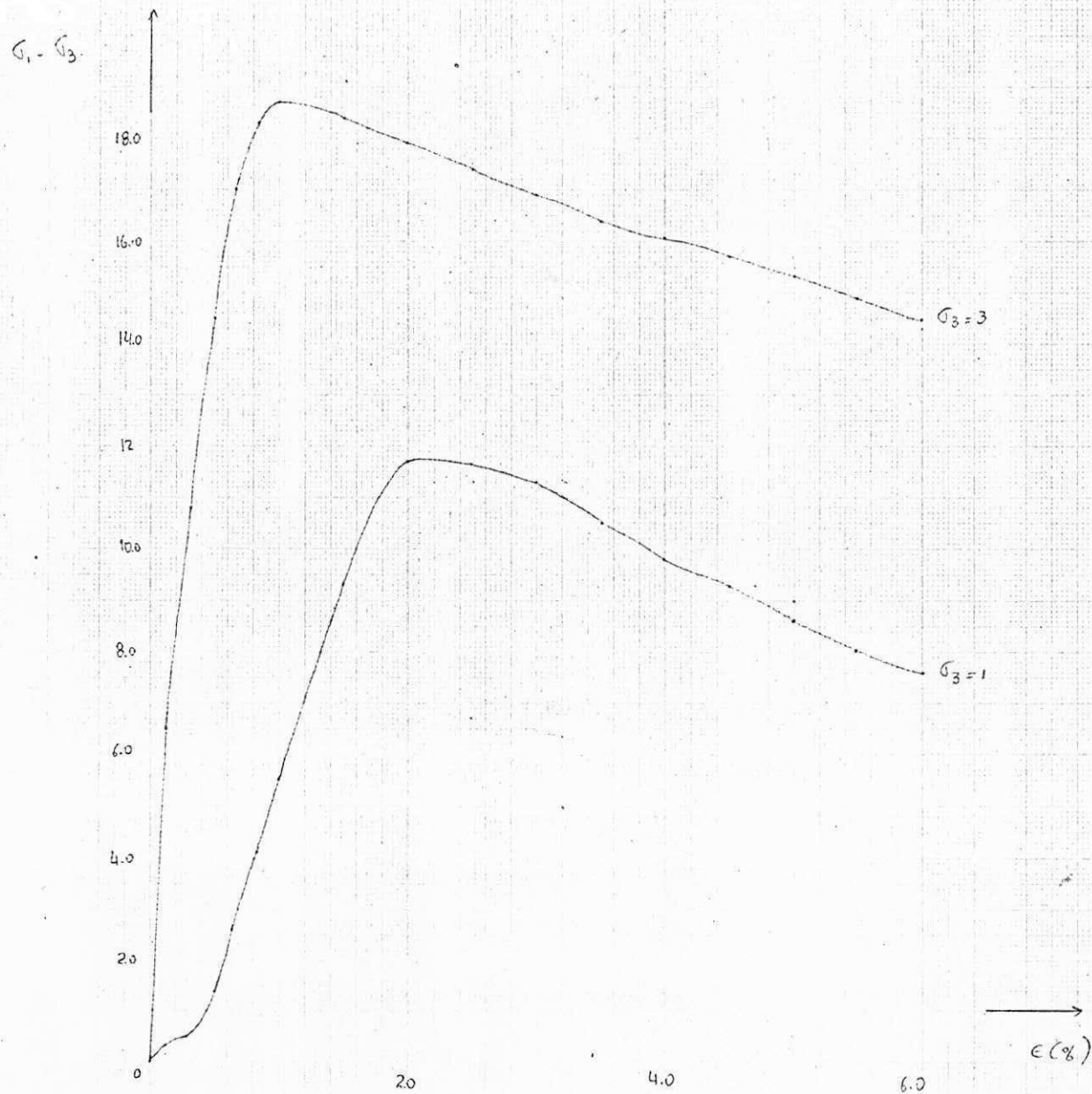


GRÁFICO 7

$\sigma_3 = 1 \text{ Kg/cm}^2$

$\sigma_1 - \sigma_3$
(máximo)

10

5

0

0

5

10

% de eal

○ → 1 día
△ → 14 días

GRÁFICO 8

$\sigma_1 - \sigma_3$
(máximo)

$\sigma_3 = 3 \text{ Kg/cm}^2$

20

15

10

5

0

0

5

10

→
% de cal

○ 1 día

△ 14 días

△

○

○

△

△

○

GRÁFICO 9

$$\sigma_3 = 3.0 \text{ Kg/cm}^2$$

$(\sigma_1 - \sigma_3)$
máximo

20

15

10

5

0

1

14

→
Tiempo (días)

○ → 0% eal

□ → 5% eal

△ → 10% eal

△

□

○

△

□

○

GRÁFICO 10

$(\sigma_1 - \sigma_3)$
máximo

10

5

0 1

14

Tempo (dias)

○ → 0% cal.

□ → 5% cal.

△ → 10% cal.

□

△

○

□

○

△

GRÁFICO 11

$\sigma_1 - \sigma_3$
máximo

0% eal

10

5

0
 Δ

0

1

3

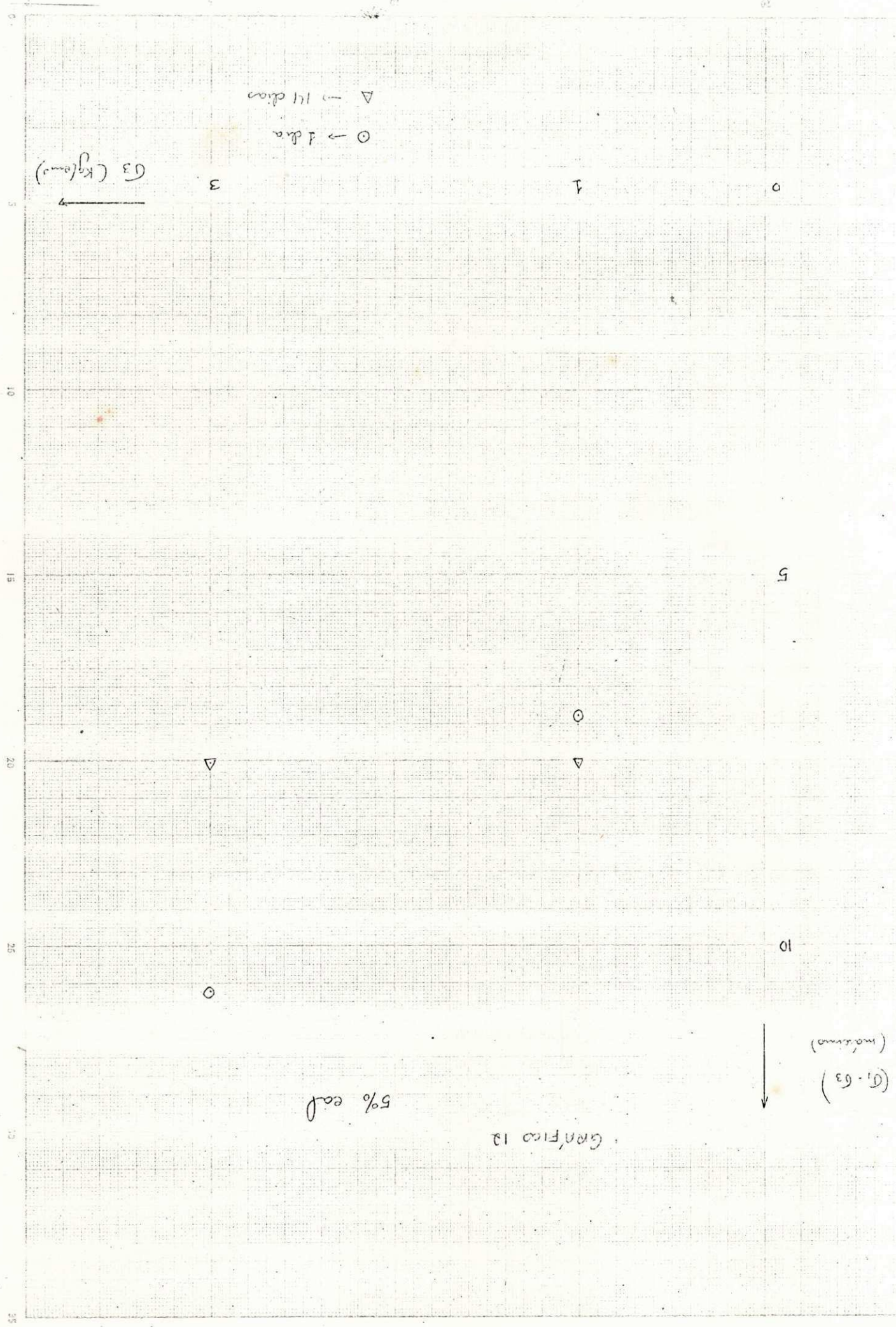
σ_3 (kg/cm²)

○ → 1 día

Δ → 14 días

Δ

○



G3 (kg/dm²)

○ → 1 dia
 △ → 14 dias

G1.G2 (matras)

5% ead

Gráfico 12