

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS

LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

COLABORAÇÃO NO CONTROLE DOS MACIÇOS TERROSOS
DA BARRAGEM DO MIRA

13.º RELATÓRIO

(Relatório final sobre o controle de compactação)

Estudo realizado para a DIRECÇÃO GERAL
DOS SERVIÇOS HIDRÁULICOS

Lisboa, Março de 1969



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

SERVIÇO DE GEOTECNIA
DIVISÃO DE FUNDAÇÕES

Proc. 53/1/2235

COLABORAÇÃO NO CONTROLE DOS MACIÇOS TERROSOS
DA BARRAGEM DO MIRA

13.º RELATÓRIO

(Relatório final sobre o controle de compactação)

Estudo realizado para a DIRECÇÃO GERAL
DOS SERVIÇOS HIDRÁULICOS

Lisboa, Março de 1969

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.
AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA
e-mail: lnec@lnec.pt
www.lnec.pt

Digitalizado no Setor de Divulgação Científica e Técnica do LNEC

2022

ÍNDICE

1 - CONTROLE DE COMPACTAÇÃO DE 20 DE MARÇO DE 1967 A 24 DE JANEIRO DE 1968	1
1.1 - Zonas de montante e jusante (solos xistosos)	1
1.2 - Núcleo central (solos argilosos)	2
1.3 - Percentagem de rejeições	2
2 - REVISÃO DAS TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO E CONTROLE EMPREGADAS	3
3 - ESTUDO GLOBAL COM BASE NOS RESULTADOS DE TODAS AS ANÁLISES ESTADÍSTICAS DOS ELEMENTOS REFERENTES A COMPACTAÇÕES RELATIVAS E AOS AFASTAMENTOS DOS TEORES DE HUMIDADE	8
4 - ENSAIOS DE COMPRESSÃO TRIAXIAL	9
4.1 - Amostras preparadas no laboratório com terras colhidas na mancha	9
4.2 - Amostras preparadas no laboratório com terras colhidas no aterro	9
4.3 - Amostras colhidas no aterro xistoso numa camada compactada com cuidados especiais	9
4.4 - Amostras colhidas no aterro xistoso	10
5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	10

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO I	3
QUADRO II	11

ÍNDICE DE FIGURAS

- Fig. 1 - Análise estatística, montante-jusante. Compactações relativas 0,10 m de profundidade.
- " 2 - Análise estatística, zonas montante-jusante. Afastamento dos teores de humidade, 0,10 m de profundidade.
- " 3 - Análise estatística, montante-jusante. Compactações relativas, 0,35 m de profundidade.
- " 4 - Análise estatística, zona montante-jusante. Afastamento dos teores de humidade 0,35 m de profundidade.
- " 5 - Análise estatística, montante-jusante. Compactações relativas, 0,55 m de profundidade.
- " 6 - Análise estatística, zona montante-jusante. Afastamento dos teores de humidade 0,55 m de profundidade.
- " 7 - Análise estatística, montante-jusante. Compactações relativas. Contrôles a três profundidades.
- " 8 - Análise estatística, montante-jusante. Afastamento dos teores de humidade. Contrôles a três profundidades.
- " 9 - Análise estatística. Núcleo central. Compactações relativas, 0,10 m de profundidade.
- " 10 - Análise estatística. Núcleo central. Afastamento dos teores de humidade, 0,10 m de profundidade.
- " 11 - Análise estatística. Núcleo central. Compactações relativas, 0,35 m de profundidade.

- Fig. 12 - Análise estatística. Núcleo central. Afastamento dos teores de
humidade, 0,35 m de profundidade.
- " 13 - Análise estatística. Núcleo central. Compactações relativas.
Contrôle a duas profundidades.
- " 14 - Análise estatística. Núcleo central. Afastamento dos teores de
humidade. Contrôle a duas profundidades .
- " 15 - Ensaio triaxial. Amostras colhidas na mancha e preparadas no La
boratório.
- " 16 - Ensaio triaxial. Amostras colhidas no aterro e preparadas no La
boratório.
- " 17 - Ensaio triaxial. Amostras colhidas na camada "especial" à cota
66,55 m.
- " 18 - Ensaio triaxial. Conjunto de amostras.

COLABORAÇÃO NO CONTROLE DOS MACIÇOS TERROSOS DA BARRAGEM DO MIRA

INTRODUÇÃO

No presente relatório, faz-se inicialmente uma apreciação dos resultados das análises estatísticas dos elementos referentes a compactações relativas e aos afastamentos dos teores de humidade obtidos durante o controle efectuado de 20 de Março de 1967 a 24 de Janeiro de 1968.

Posteriormente é feita uma revisão das técnicas de compactação e de controle empregadas e um estudo global com base nos resultados de todas as análises estatísticas dos elementos referentes a compactações relativas e aos afastamentos dos teores de humidade. Também se faz referência pormenorizada aos ensaios de compressão triaxial realizados tendo em vista um melhor conhecimento das características de corte dos terrenos colocados na barragem.

No final, salientam-se alguns aspectos referentes à experiência ora adquirida na compactação de xistos alterados, tendo em vista futura elaboração, execução e controle de projectos semelhantes.

1 - CONTROLE DE COMPACTAÇÃO DE 20 DE MARÇO DE 1967 A 24 DE JANEIRO DE 1968

1.1 - Zonas de montante e jusante (solos xistosos)

As figs. 1, 3 e 5, apresentam curvas de frequências distributivas e cumulativas de compactações relativas para três zonas distintas das camadas.

Verificou-se uma ligeira melhoria nas compactações relativas obtidas neste período em relação à totalidade dos resultados obtidos anteriormente em todas as profundidades. O estudo de compactação a diferentes profundidades

da camada (fig. 7), mostra que persiste o fenómeno salientado em relatórios anteriores: pequeno decréscimo do efeito de compactação com a profundidade.

Quanto a afastamentos do teor de humidade, as figs. 2, 4 e 6 demonstram ter havido correcções quer no ramo seco quer no ramo húmido, correcções essas que levaram a uma redução do intervalo de dispersão. Deve ainda notar-se que esta redução tem amplitudes que variam de modo decrescente com a profundidade. Uma análise comparativa de afastamento dos teores de humidade verificados nas três zonas da camada (fig. 8) mostra que a distribuição da água é praticamente homogénea relativamente à profundidade.

1.2 - Núcleo central (solos argilosos)

As compactações relativas obtidas neste período para duas zonas das camadas (figs. 9 e 11), podem considerar-se satisfatórias, muito embora se deva salientar um pequeno decréscimo na qualidade dos resultados em relação às compactações relativas referentes aos períodos anteriores, na zona mais profunda da camada (fig. 11). O estudo da compactação a diferentes profundidades da camada, leva a conclusões semelhantes às de 1.1, sendo que neste caso o fenómeno é mais pronunciado (fig. 13).

Quanto a afastamentos dos teores de humidade verifica-se pelas figs. 10 e 12, que para as diferentes profundidades não existe praticamente dispersão relativamente ao intervalo - 3 % a 0 tomado como admissível. Há que salientar entretanto uma pequena heterogeneidade na distribuição da água em profundidade da camada (fig. 14).

1.3 - Percentagem de rejeições

Os ensaios continuaram a ser realizados por duas equipas: uma da D.G.S.H. e outra do L.N.E.C.

Do quadro I verifica-se que a percentagem de ensaios considerados como não estando de acordo com o estabelecido no caderno de encargos aumentou em relação ao período anterior.

QUADRO I

		Nº ensaios efectuados	Nº ensaios de resultados não aceitáveis	% de ensaios de resultados não aceitáveis
Período anterior	SH	5495	860	15,7
	L.N.E.C.	6297	1527	24,3
	Total	11792	2387	20,2
Neste período	SH	1281	232	18,1
	L.N.E.C.	1712	397	23,2
	Total	2993	629	21,0
Período total de construção	SH	6776	1092	16,1
	L.N.E.C.	8009	1924	24,0
	Total	14785	3016	20,4

2 - REVISÃO DAS TÉCNICAS DE COMPACTAÇÃO E CONTRÔLE EMPREGADAS

Quando da adjudicação da obra a empresa construtora propôs-se realizar a compactação dos aterros usando cilindros vibradores de rasto liso. Estes cilindros pesavam 8 toneladas, tinham 1,6 metros de diâmetro e 2,00m de largura de rasto. A frequência da solicitação era variável e ajustável entre 1500 e 1800 c.p.m. Era intenção da empresa compactar camadas de cerca de 1 m de espessura.

As terras disponíveis eram obtidas a partir de formações residuais xistosas, cuja alteração era pouco acentuada e alcançava profundidades não superiores a 1 ou 2 metros.

Perante estas condições considerou-se que só um estudo em estaleiro, por intermédio de aterros experimentais, poderia dar um sentido realista aos resultados obtidos já que estudos laboratoriais dificilmente reproduz

ziriam os efeitos de trituração, mistura e arranjo estrutural que seriam obtidos na obra pelos equipamentos usados para excavação, transporte, espalhamento e compactação.

Nesses aterros experimentais foram estudadas fundamentalmente as seguintes características:

a) evolução da granulometria do solo com o número de passagens do cilindro

b) influência do número de passagens do cilindro na compactação re-lativa conseguida

c) degradação em profundidade das compactações relativas obtidas.

Os resultados (relatório nº 1, Setembro de 1964) indicaram a conve-niência de se colocarem camadas de 80 cm de espessura de xistos alterados, em sub-camadas que recebiam, uma por uma, rega e revolvimento. A fim de minimizar o decréscimo do efeito compactivo com a profundidade, reduziu-se depois para 60 cm essa espessura. Posteriormente de acordo com os resultados obtidos na medição da permeabilidade dos maciços terrosos, foi de-cidido estabelecer um núcleo argiloso. As camadas a compactar nesta zona foram inicialmente tratadas de modo análogo às das zonas estabilizadoras de montante e jusante. No entanto devido a ter-se verificado um certo grau de estratificação proveniente da diminuição com a profundidade do efeito de compactação, a espessura da camada a compactar foi alterada para 40cm. (9º relatório, Dezembro, 1966).

No 12º relatório, em que se faz uma análise final do comportamento dos aterros do ponto de vista de permeabilidade, é sucintamente exposto o in-conveniente duma anisotropia com predominância de permeabilidade horizontal. Se se atender a que a estratificação assinalada na compactação do núcleo implica uma permeabilidade anisotrópica verifica-se a conveniência da diminuição da espessura das camadas a compactar nessa zona.

O controle de compactação foi efectuado a três profundidades para ca

da camada de xistos e a duas profundidades para cada camada de argila quando a espessura adoptada passou a ser de 0,40 m. Como energia padrão de compactação adoptou-se a correspondente ao Proctor normal e impôs-se um mínimo de compactação relativa de 95 % para os solos xistosos e 98 % para os solos argilosos do núcleo.

O contróle do teor de humidade foi efectuado no campo por meio do "speedy" sendo os valores de registo obtidos em estufa. Admitiu-se nos solos do núcleo uma tolerância de 3 % para desvios em relação ao óptimo para o lado seco; nos solos xistosos 1 % para o lado húmido e desvio para o lado seco análogo ao dos solos argilosos.

Nesta barragem não foi seguido nenhum dos métodos de controle empregues em aterros de barragens já construídas e que foram o método da família de curvas e o método de Hilf. Convém pois que se pormenorize um pouco mais a técnica seguida no presente caso bem como as razões que a determinaram.

Quando da realização dos aterros experimentais duas das grandezas a determinar foram o peso específico aparente e o teor de humidade. A primeira não se reveste de qualquer dificuldade bastando retirar um dado volume de material compactado, volume esse medido por intermédio duma garrafa de areia. Simultâneamente eram recolhidas amostras para determinação do teor de humidade. Com este último valor ficava a conhecer-se o peso específico aparente seco. Por peneiração determinava-se a percentagem de grossos a' sendo que o peneiro adoptado para a separação entre as duas fracções, grossa e fina, foi o de 3/4" por razões a que mais adiante se fará referência. O peso específico aparente seco da fracção fina calculou-se a partir da expressão:

$$\gamma_{s_f} = \frac{\gamma_{s_t} - a' \times \gamma_{s_t}}{1 - \frac{a' \times \gamma_{s_t}}{G}}$$

em que γ_{s_f} e γ_{s_t} são os pesos específicos aparentes secos respectivamente

te da parte fina e do total, a' a percentagem de grossos e G o peso específico dos grãos.

Para determinação do teor de humidade usou-se a secagem em estufa sendo tentados outros processos tais como o do carboneto de cálcio (Speedy) e a queima com álcool.

A escolha do peneiro 3/4" para separação entre finos e grossos, dado o valor mais elevado da malha em relação ao peneiro normalmente usado (nº 4), dificultou a utilização do método do carboneto de cálcio, já que uma grande percentagem de elementos de elevado diâmetro origina uma deficiente homogeneização da mistura do carboneto de cálcio com o solo colocado na garrafa e perde significado qualquer tentativa de calibração. Queimando o terreno com álcool surgia outro inconveniente: o xisto, quando sujeito à chama, estala com projecção de fragmentos para fora da cápsula. Uma tentativa para evitar esta perda iria complicar um método que se justifica pela sua simplicidade.

Verificou-se pois que o que se poderia ganhar em tempo com o Speedy e o álcool se perdia em precisão. Sublinhe-se que todas estas operações foram tentadas em terrenos que apresentavam percentagens de 40 a 50 % retidas entre o peneiro nº 4 e o de diâmetro 3/4".

Dos resultados obtidos nos aterros experimentais e expostos no 1º relatório (Setembro de 1964) chegou-se à conclusão que, para fins de controle de compactação no aterro da barragem, o ensaio padrão Proctor normal (que é efectuado sobre o material passando no peneiro nº 4) não era representativo face aos aspectos que apresentavam às curvas granulométricas dos materiais colocados: elevadas percentagens de material acumulado no peneiro 4, percentagens essas que rondavam os 50 a 60 % do peso total.

Procurou-se pois, introduzindo um peneiro de malha mais larga que o nº 4, conseguir que do ensaio resultassem dados que permitisse, duma maneira válida, transferir os resultados deles deduzidos para o aterro. A

escolha do peneiro 3/4" e do molde utilizado na determinação do C.B.R., assegurou essa validade já que valores à roda dos 20 % do peso total eram os mais frequentes para as percentagens do material retido nesse peneiro e um maior volume do molde estava de acordo com a elevação do diâmetro máximo permitido no ensaio. Não sendo de considerar qualquer alteração na energia com que as terras seriam compactadas no aterro da barragem conservou-se no ensaio a energia por unidade de volume correspondente ao Proctor normal. Os ensaios em que a percentagem de grossos assim determinada ultrapassasse 40 % determinariam a rejeição da camada respectiva.

Verificou-se ainda que os terrenos da mancha apresentavam grande uniformidade no que diz respeito à relação peso específico máximo-teor óptimo. Com base nessa verificação e atendendo ainda ao elevado treino das equipas controladoras evitou-se a realização do ensaio padrão por cada amostra colhida. Por simples inspecção do carácter sensorial os operadores reconheciam as terras que obrigariam a correcções pelo que, caso fosse necessário, se efectuavam imediatamente os ensaios convenientes. Foi por verificação periódica que se admitiu como correcto o processo citado.

O problema que as determinações do teor de humidade em estufa põem (uma vez que se tem de esperar cerca de 24 horas) não pareceu, no caso presente, revestir-se de muita dificuldade pois tratando-se dum aterro com grande superfície de trabalho, não se interrompiam as operações de compactação por demora na obtenção e fornecimento ao empreiteiro dos valores de controle. Mesmo assim eram sempre efectuadas determinações com o Speedy no material fino as quais serviam como indicação prévia. A decisão final ficava sempre pendente do resultado obtido em estufa tomado também como valor de registo. Este paralelismo nas determinações possibilitava o estabelecimento duma correlação entre os valores obtidos pelos dois métodos pelo que com pouca frequência foi necessário modificar decisões

tomadas perante valores obtidos a partir do Speedy.

Nos solos argilosos a energia de compactação, molde e peneiro de separação entre grossos e finos foram os correspondentes ao ensaio Proctor normal.

O controle de compactação foi também tentado por métodos indirectos (raios γ e métodos eléctricos) que conduziram no entanto a resultados de pouco rigor.

3 - ESTUDO GLOBAL COM BASE NOS RESULTADOS DE TODAS AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS ELEMENTOS REFERENTES A COMPACTAÇÕES RELATIVAS E AOS AFASTAMENTOS DOS TEORES DE HUMIDADE

Verificou-se inicialmente nos maciços xistosos, uma diminuição do efeito compactivo em profundidade. Levantou-se a hipótese do fenómeno ser provocado, em cada camada, pela distribuição não homogénea da água em profundidade. Após as devidas correcções nos processos de humedificação, verificou-se que a estratificação persistia.

No maciço argiloso onde a distribuição da água era homogénea em profundidade, também se verificava o fenómeno acima citado e de maneira mais pronunciada.

Foi sugerida então uma diminuição na espessura da camada para os dois tipos de solos conforme foi citado em 2, o que diminuiu o fenómeno sem no entanto o eliminar totalmente.

As compactações relativas conseguidas podem ser consideradas satisfatórias.

Quanto ao teor de humidade, verificou-se inicialmente nos solos xistosos uma exagerada tendência para compactar no ramo seco e uma distribuição não homogénea da água em profundidade na camada, efeitos estes não verificados nos solos argilosos. Uma humedificação mais eficiente das ter

ras a compactar eliminou praticamente esses efeitos.

Para os dois tipos de solos, a dispersão dos valores de afastamento do teor de humidade relativamente ao intervalo tomado como admissível, foi considerada aceitável.

4 - ENSAIOS DE COMPRESSÃO TRIAXIAL

Foram efectuadas determinações em amostras preparadas em laboratório com terras da mancha e do aterro, em amostras intactas colhidas no aterro e numa camada construída com cuidados especiais.

Utilizaram-se em qualquer dos casos (material remexido e intacto), provetes cilíndricos com cerca de 44 cm de altura e 22 cm de diâmetro. Os ensaios de compressão triaxial foram do tipo consolidado - não drenado. Os resultados estão expressos em termos de tensões efectivas e usou-se uma representação transformada de Mohr.

4.1 - Amostras preparadas no laboratório com terras colhidas na mancha

Estes ensaios referem-se às amostras nº 4851, 4853 e 4854. Obtiveram-se os valores $c' = 0$ e $\phi' \approx 40^\circ$. (fig. 15).

4.2 - Amostras preparadas no laboratório com terras colhidas no aterro

Os ensaios efectuados nas amostras nº 4772, 4774 e 4775, forneceram os valores $c' = 0$ e $\phi' \approx 36^\circ$. (fig. 16).

4.3 - Amostras colhidas no aterro xistoso numa camada compactada com cuidados especiais

Obtiveram-se os valores $c' = 0$ e $\phi' \approx 42^\circ$ (fig. 17), nos ensaios efectuados nas amostras nºs 5164, 5165, 5166, 5167, 5168 e 5169. Apresentam-se no quadro II as informações complementares julgadas convenientes.

4.4 - Amostras colhidas no aterro xistoso

Considerando-se os resultados de todos os ensaios realizados, obtiveram-se os valores $c' = 0,026 \text{ kg/cm}^2$ e $\phi' \approx 40^\circ$. (fig. 18). Para a determinação da recta mais provável, utilizou-se o método dos mínimos quadrados. Apresentam-se no quadro II informações complementares julgadas convenientes. É de notar que os resultados da camada "especial" não têm pêsso significativo no conjunto.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O facto de ser a barragem do Mira a primeira obra de envergadura desse tipo em Portugal em que se empregaram xistos alterados na construção dos maciços estabilizadores, justifica que se salientem alguns aspectos da experiência ora adquirida em benefício de futuros projectos em que se preveja o uso desse tipo de solo.

A utilização de cilindros vibradores de 8 t, permitiu um ritmo mais rápido de colocação de terras pois foi possível obter compactações relativas satisfatórias em camadas de xistos com 60 cm de espessura. Estas camadas foram colocadas em sub-camadas que recebiam, uma por uma, rega e remeximento eficientes a fim de evitar uma distribuição não homogénea da água em profundidade, fenómeno esse que as características do material e do método de compactação ajudam a vincar. Para as argilas do núcleo, as camadas foram compactadas com 40 cm de espessura.

O efeito de compactação decrescente com a profundidade que se observou quer nos xistos quer nas argilas, não parece acarretar inconvenientes, excepto sob o aspecto de permeabilidade dos maciços, os quais desse ponto de vista se comportam como anisotrópicos. Essa anisotropia caracteriza-se por maiores permeabilidades na horizontal. Convém no entanto salientar que o material xistoso dadas as suas características lamelares, ainda que homogeneamente compactado, exhibiria com certeza uma permeabili

QUADRO II

Amostra		h (cm)	D (cm)	γ (kg/cm ²)	W %	c' (kg/cm ²)	ϕ' (graus)	Cota do Aterro (m)	Observações
LNEC	DGSH								
4915	1'	44,0	22,0	1,0				78,20	c' = 0,026 kg/cm ² $\phi' \approx 40^\circ$
4916	2'	46,0	22,0	1,5	7,40				
4917	3'	46,5	22,0	2,0	9,00				
4918	4'	45,0	22,0	2,5	7,50				
5067		44,0	22,0	1,0	11,00			76,30	
5069		43,5	22,0	1,5	8,30				
5149	I	44,2	22,0	1,0	11,70			66,55	
5150	V	44,8	22,2	1,5	11,72				
5151	VI	45,0	22,5	2,0	15,29				
5152	IV	44,5	22,5	1,0	12,00				
5153	II	45,0	22,5	2,0	11,70				
5154	III	45,0	22,0	2,0	12,66				
5164	VII	44,2	22,5	1,0	11,30	0	$\approx 42^\circ$		
5165	XII	44,4	22,5	2,0	11,30				
5166	VIII	45,5	22,0	1,5	15,00				
5167	IX	44,3	22,5	1,0	12,30				
5168	X	44,5	22,5	1,5	12,40				
5169	XI	43,8	22,2	2,0	12,10				
5234	1	42,0	22,5	1,5	8,95			75,39	
5235	2	45,0	22,5	1,0	11,10				
5236	3	55,8	22,5	2,0	10,80				
6497	74	50,5	22,2	1,0				110,54	
6498	75	50,5	23,0	2,0					
6499	76	47,0	22,2	3,0					
6500	77	46,0	22,2	2,5					

dade horizontal maior. A estratificação assinalada deve no entanto acen-
tuar este fenómeno.

No total, e para o controle directo, foram efectuados 14 785 ensaios (Quadro I) o que dá aproximadamente uma determinação por cada 270 metros cúbicos de aterro compactado. A percentagem de ensaios que conduziu a valores considerados não aceitáveis foi de cerca de 20 % (Quadro I). Esta percentagem conjuntamente com os resultados obtidos indica um trabalho que pode considerar-se satisfatório. A frequência para as determinações no controle de compactação pode parecer elevada se não se tiver em atenção o tratar-se dum aterro constituído por xistos, material não utilizado até à data e que por isso se resolveu controlar mais intensamente.

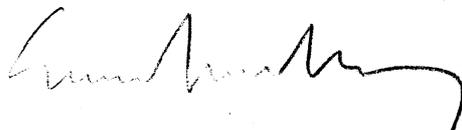
Quanto aos ensaios triaxiais verifica-se que em amostras preparadas em laboratório com terras provenientes do aterro ou da mancha de empréstimo, há uma diminuição do valor ϕ' para as compactadas com terras provenientes do aterro (figuras 15 e 16). Tal facto parece justificar-se plenamente se se tiver presente a fratura de elementos mais alterados o que por sua vez implica uma granulometria mais rica em finos.

Dos ensaios realizados sobre amostras colhidas numa camada xistosa que foi trabalhada com cuidados especiais verifica-se que esse tratamento teve repercussões nas características mecânicas do material (figura 17). No entanto este tratamento especial, que visava sobretudo um solo compactado mais impermeável, não forneceu resultados que deste último ponto de vista se pudessem considerar aceitáveis.

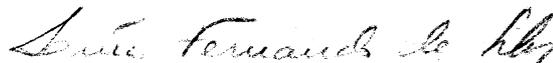
Finalmente da análise de conjunto dos resultados obtidos em ensaios triaxiais realizados sobre amostras colhidas no aterro durante a construção (figura 18) verifica-se que os valores obtidos ($c' = 0,026 \text{ kg/cm}^2$ e $\phi' \approx 40^\circ$) quando comparados com os admitidos na elaboração do projecto ($c' = 0$ e $\phi' = 28^\circ$) os excedem largamente devendo tal facto considerar-se esperado visto que o projecto se baseou em solos correspondentes às camadas

mais superficiais das manchas, portanto de maior grau de alteração. Na realidade, quando em fase de exploração, esta efectuou-se até horizontes mais profundos com a consequente diminuição do grau de alterabilidade. Foi com este material que se construíram os aterros estabilizadores de montante e jusante.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Março de 1969



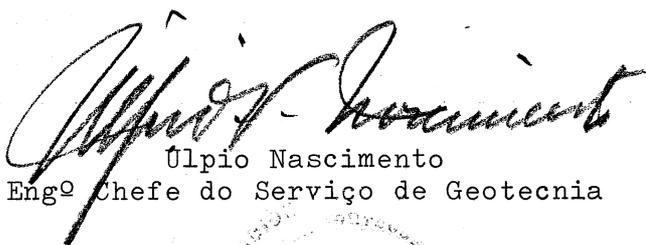
Emanuel Maranha das Neves
Eng^o Estagiário p. Especialista



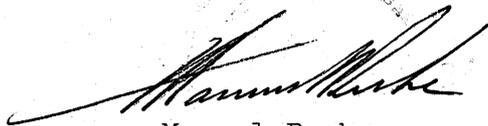
Luiz Fernando da Silva
Engenheiro Estagiário
(Universidade Federal do Pará)



José B. Folque
Eng^o Chefe da Divisão de Fundações



Úlpio Nascimento
Eng^o Chefe do Serviço de Geotecnia



Manuel Rocha
Engenheiro Director

MN/FS/LMR

FIGURAS

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONA MONTANTE-JUSANTE

COMPACTAÇÕES RELATIVAS
0,10 m DE PROFUNDIDADE

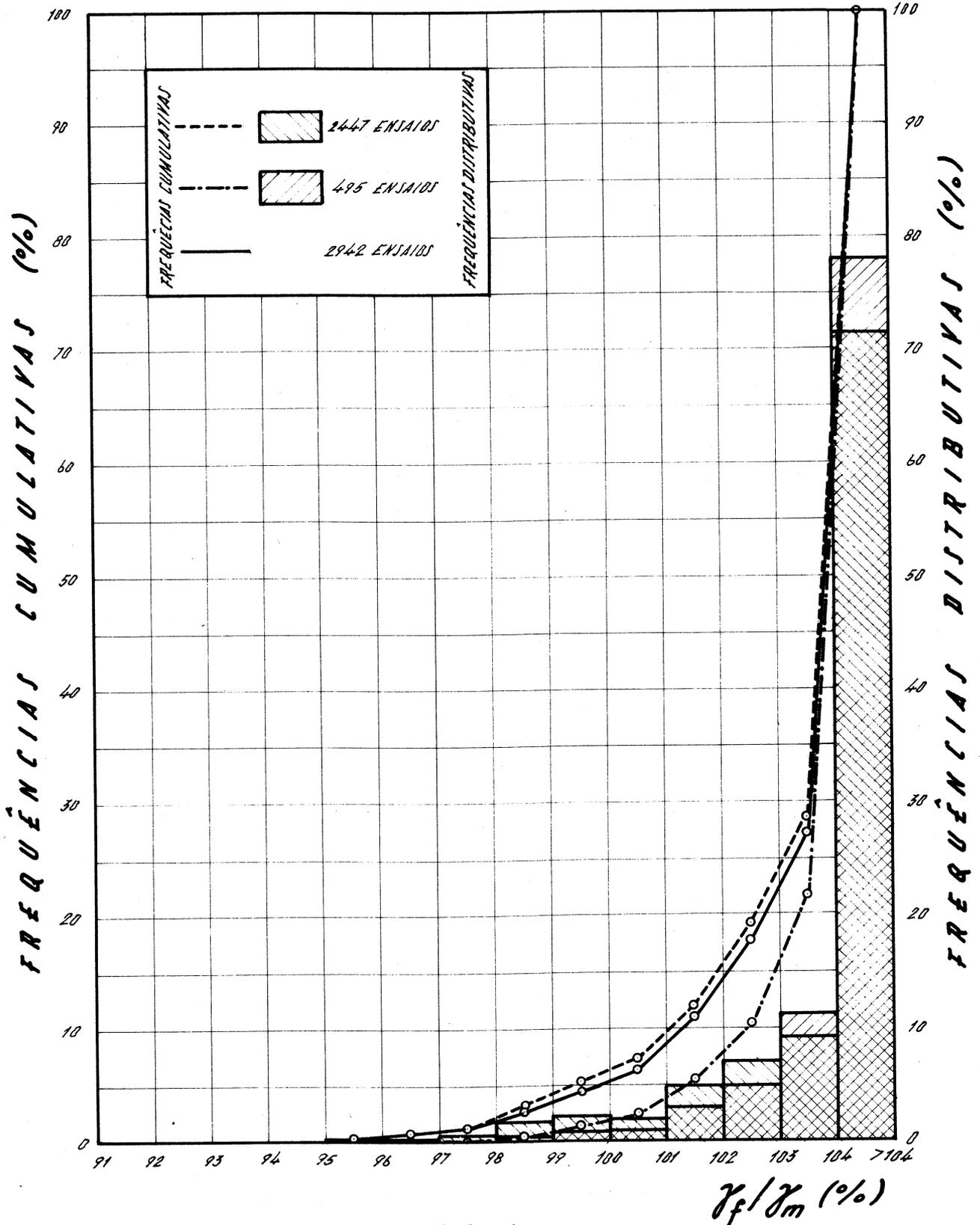


FIG. 1

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONAS MONTANTE-JUSANTE

AFAST. DOS TEORES DE HUMIDADE
0,10 m DE PROFUNDIDADE

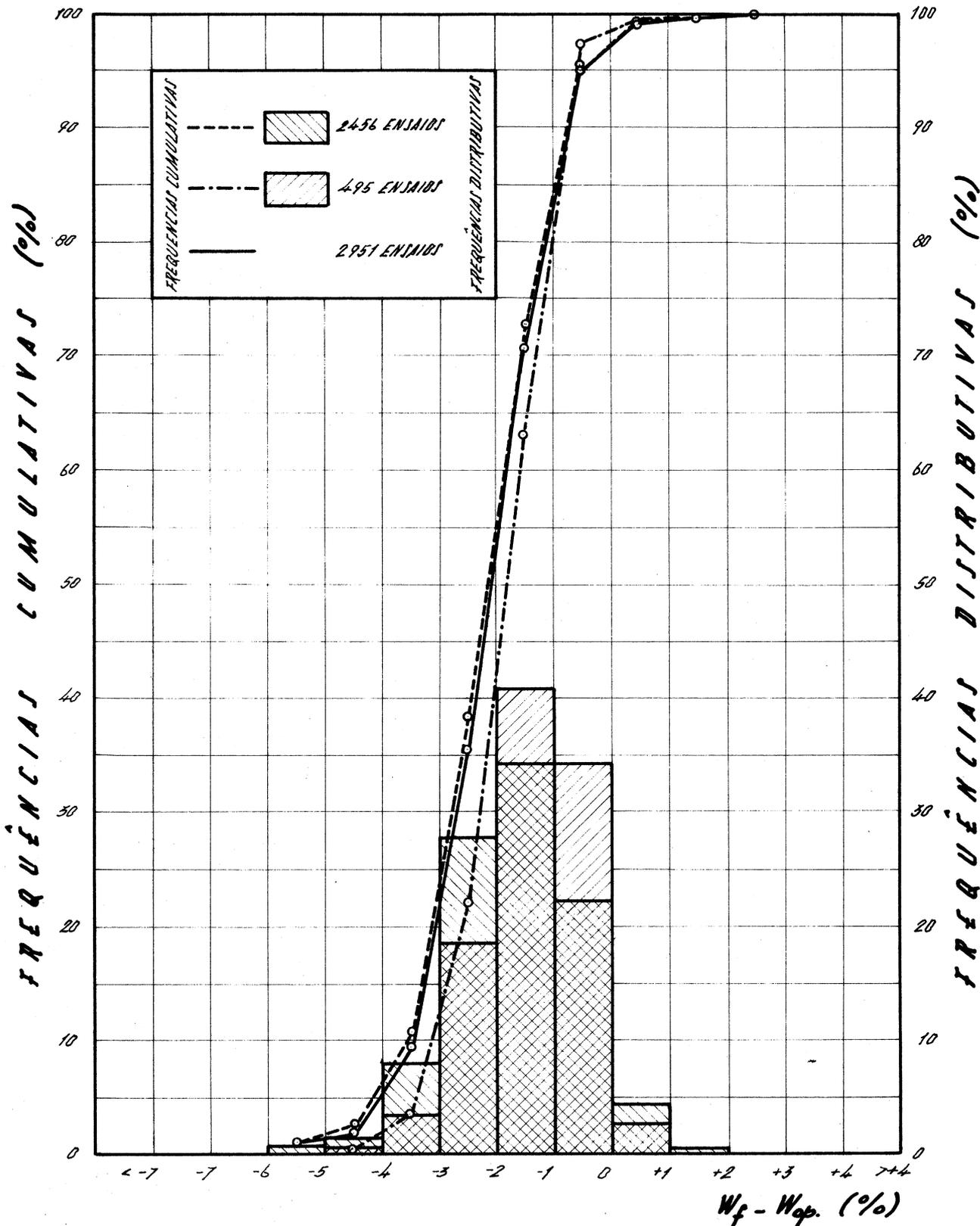


FIG. 2

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONA MONTANTE-JUSANTE

COMPACTAÇÕES RELATIVAS
0,35 m DE PROFUNDIDADE

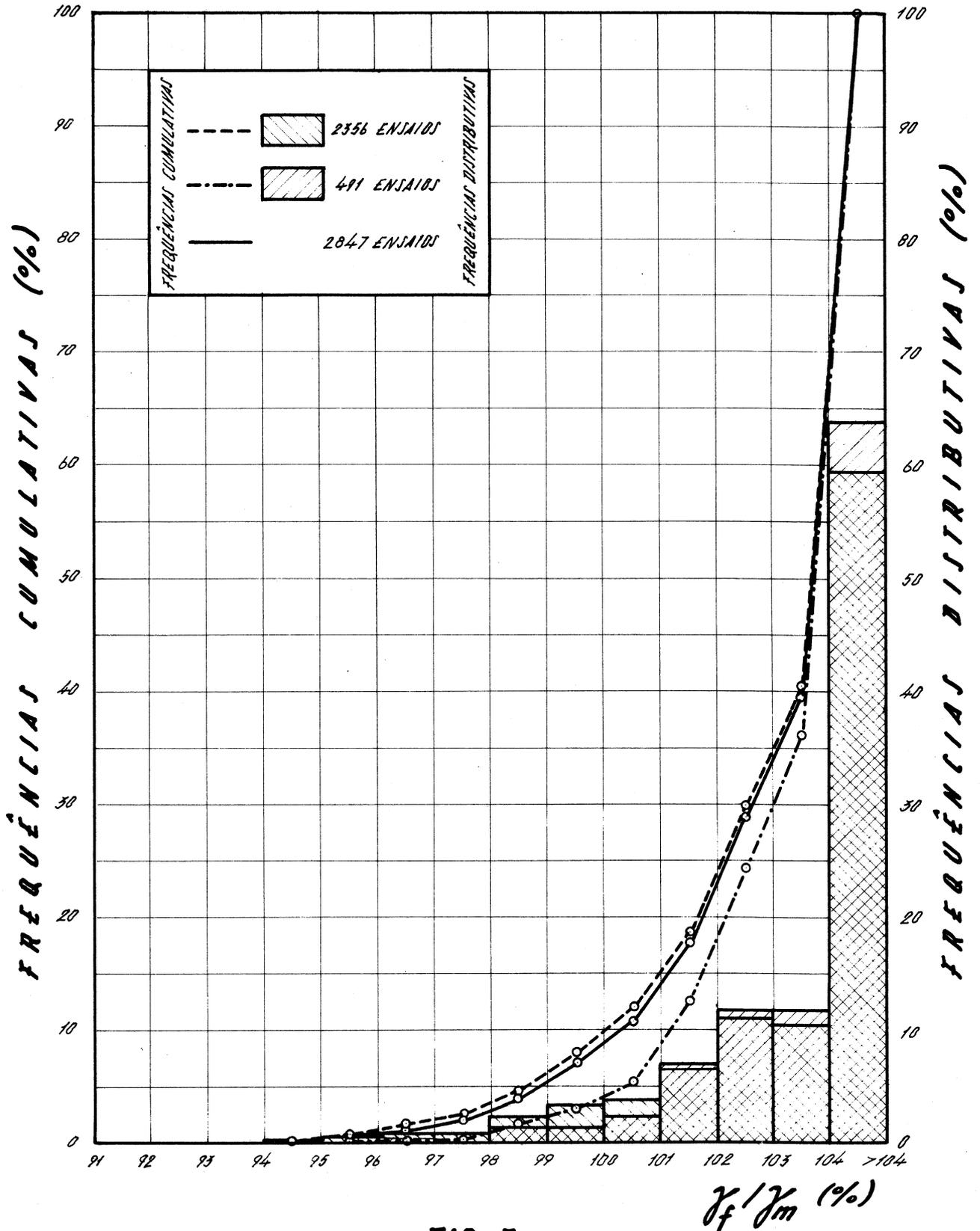


FIG. 3

γ_f / γ_m (%)

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONA MONTANTE-JUSANTE

AFAST. DOS TEORES DE HUMIDADE
0,35 m DE PROFUNDIDADE

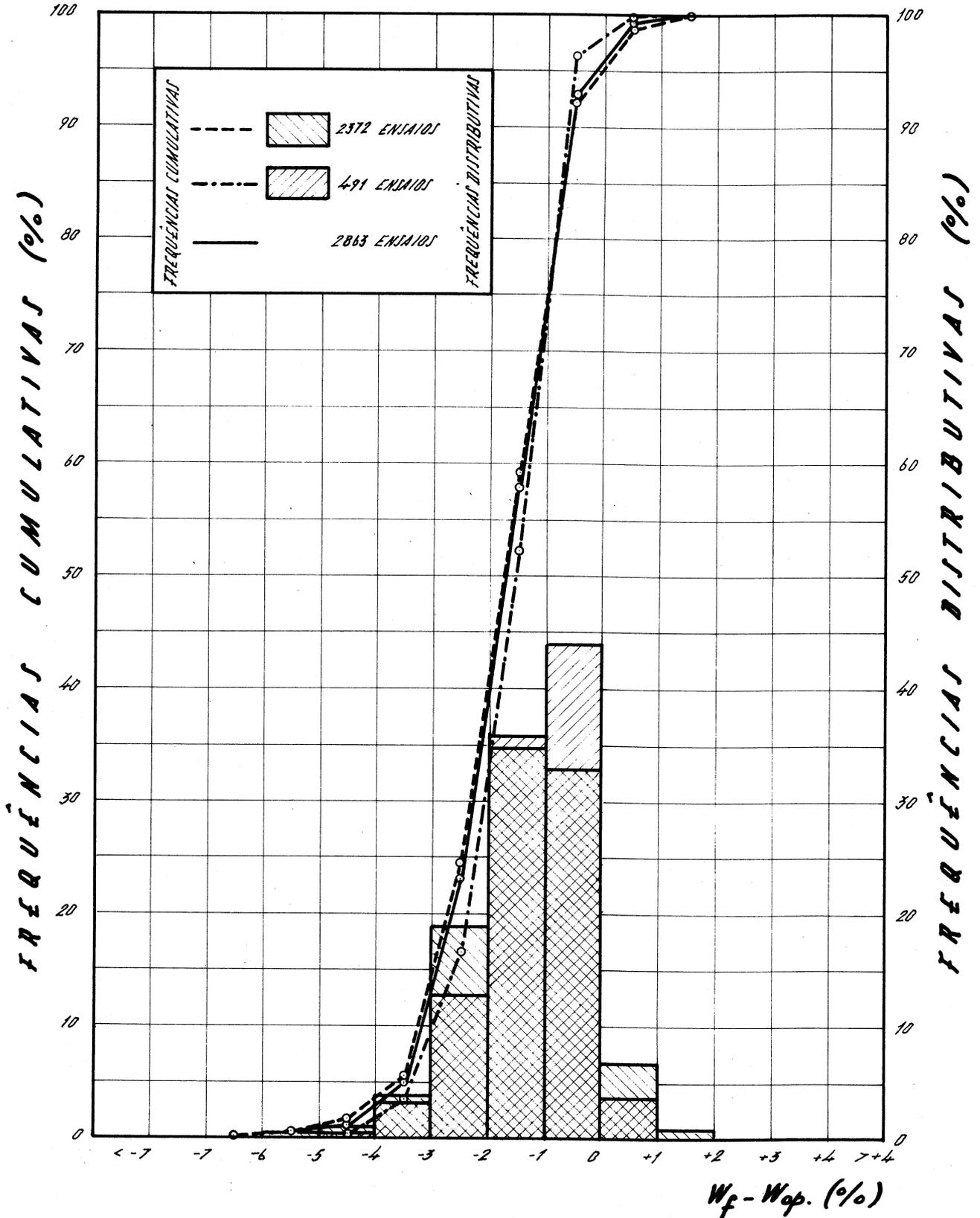


FIG. 4

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONA MONTANTE-JUSANTE

COMPACTAÇÕES RELATIVAS
0,55 m DE PROFUNDIDADE

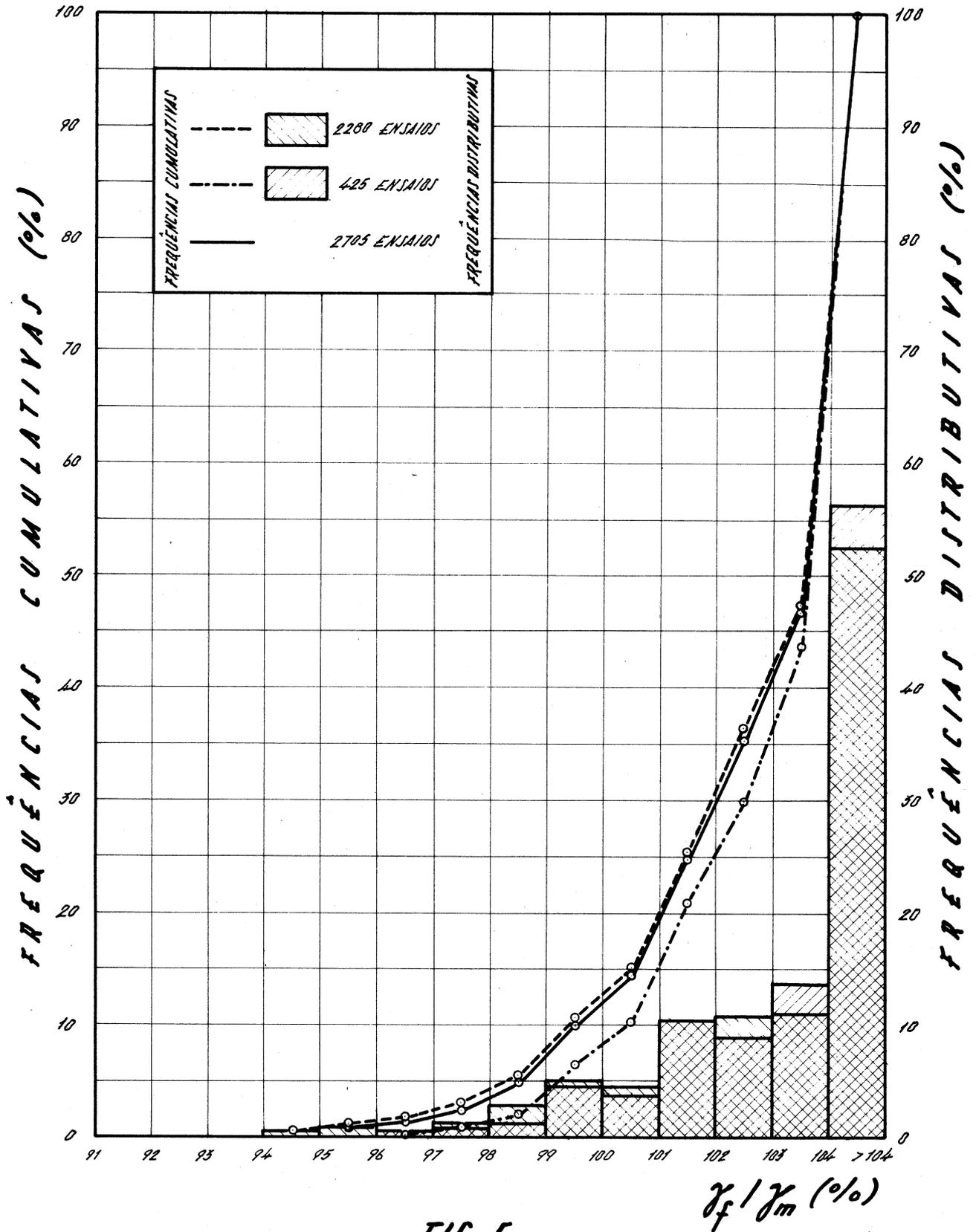


FIG. 5

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONA MONTANTE-JUSANTE

AFAST. DOS TEORES DE HUMIDADE
0,55 m DE PROFUNDIDADE

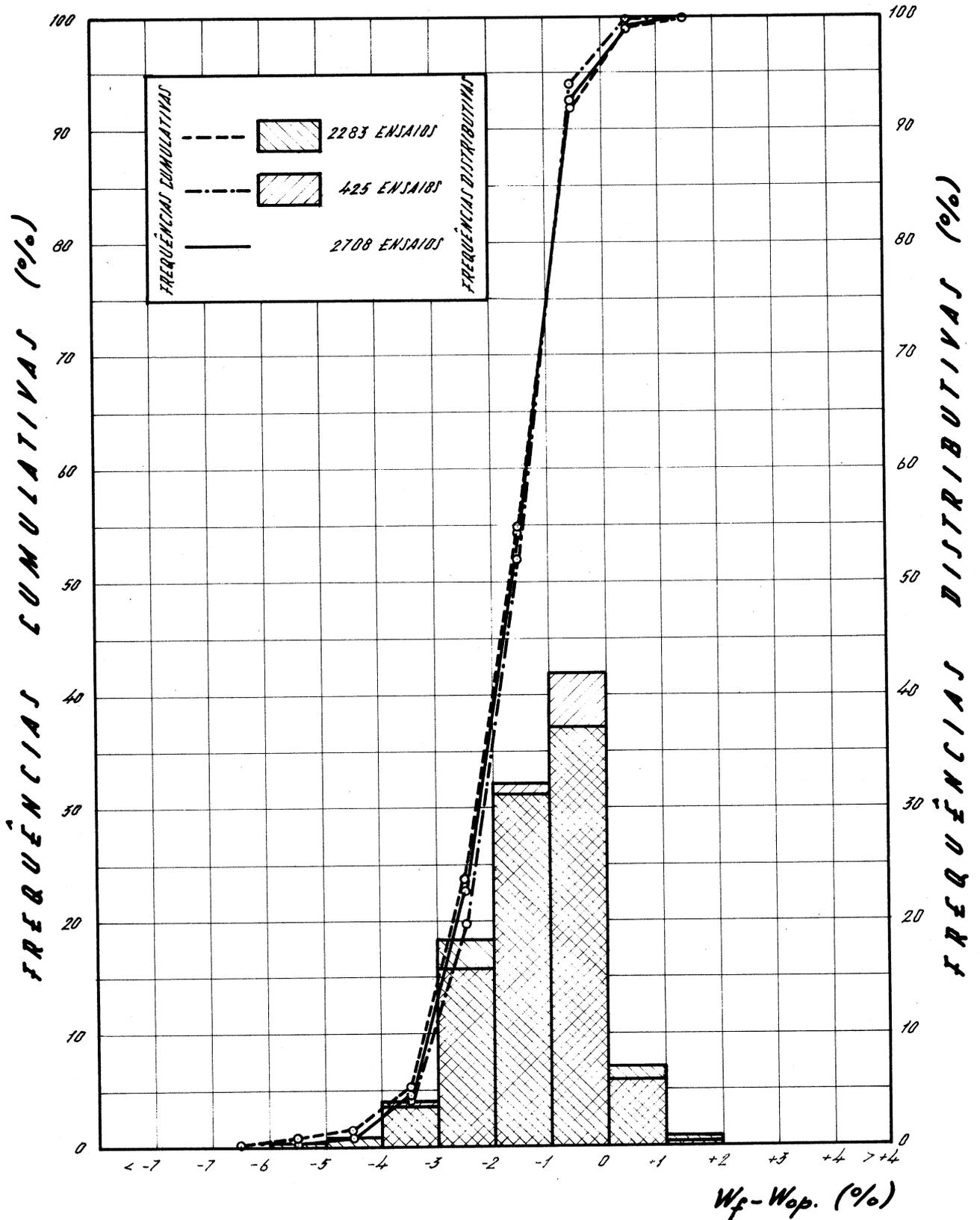


FIG. 6

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONA MONTANTE-JUSANTE

COMPACTAÇÕES RELATIVAS
CONTROLE A TRÊS PROFUNDIDADES

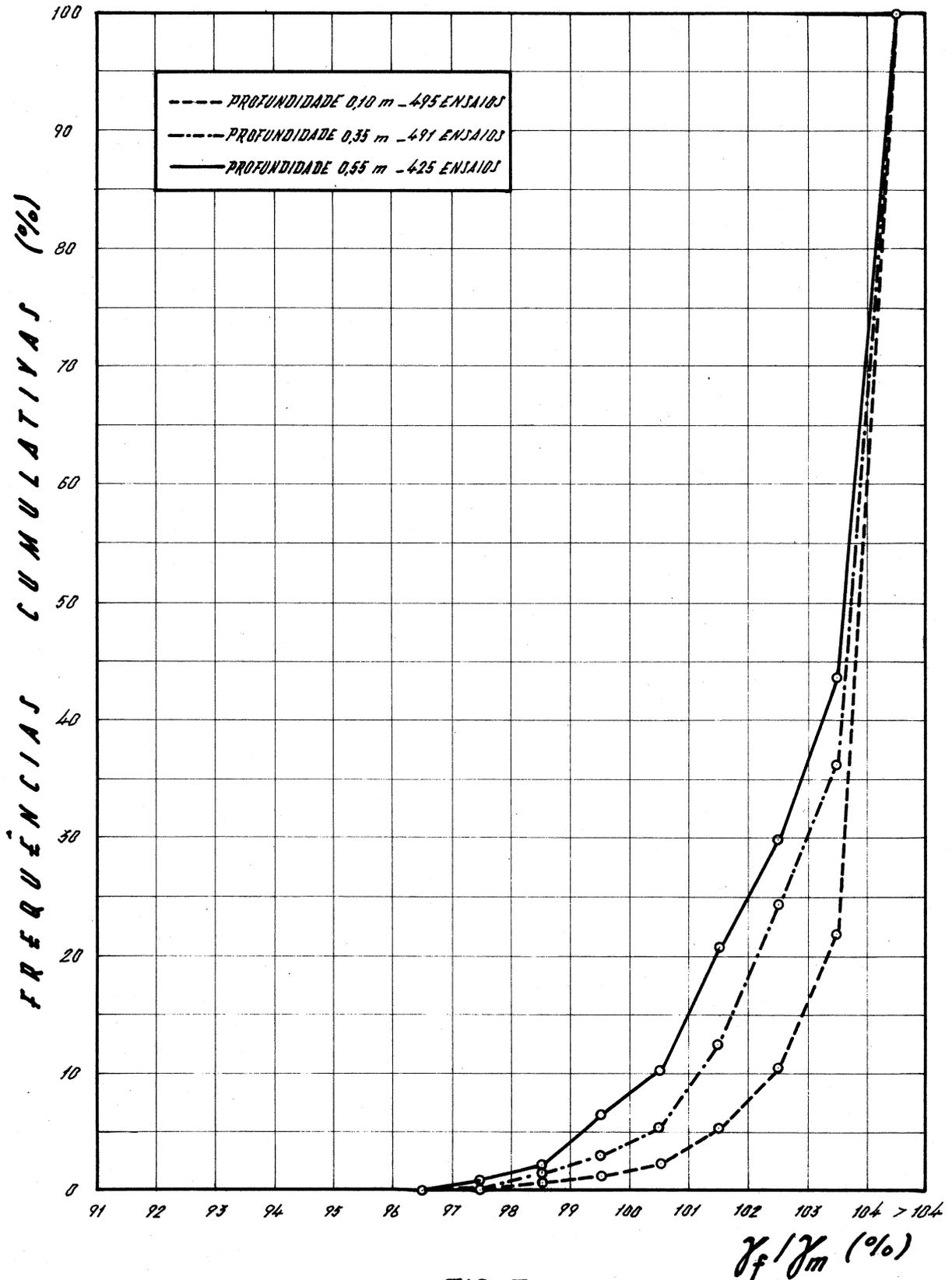


FIG. 7

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
ZONA MONTANTE-JUANTE

AFAST. DOS TEORES DE HUMIDADE
CONTROLE A TRÊS PROFUNDIDADES

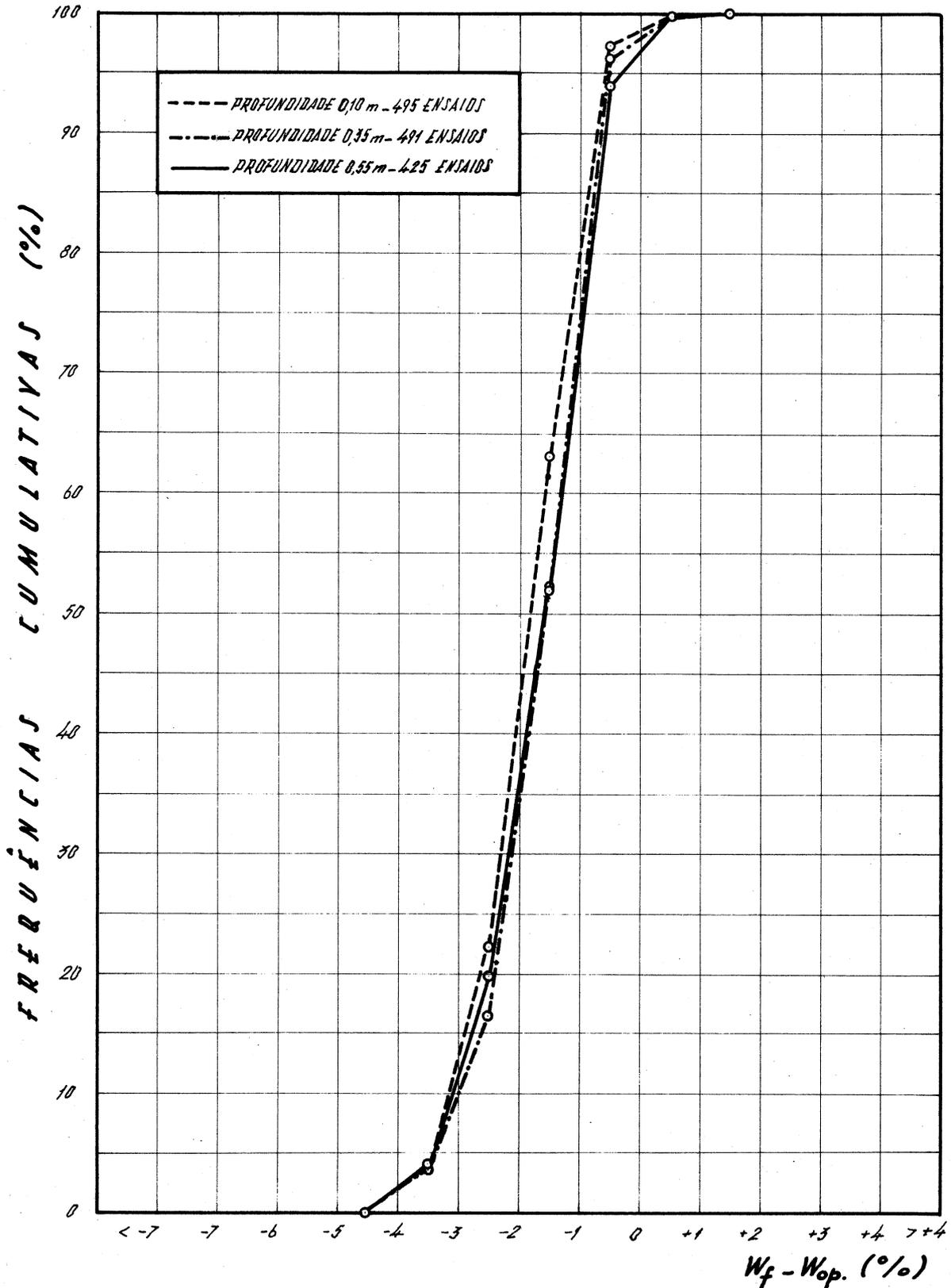


FIG. 8

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
NÚCLEO CENTRAL

COMPACTAÇÕES RELATIVAS
0,10 m DE PROFUNDIDADE

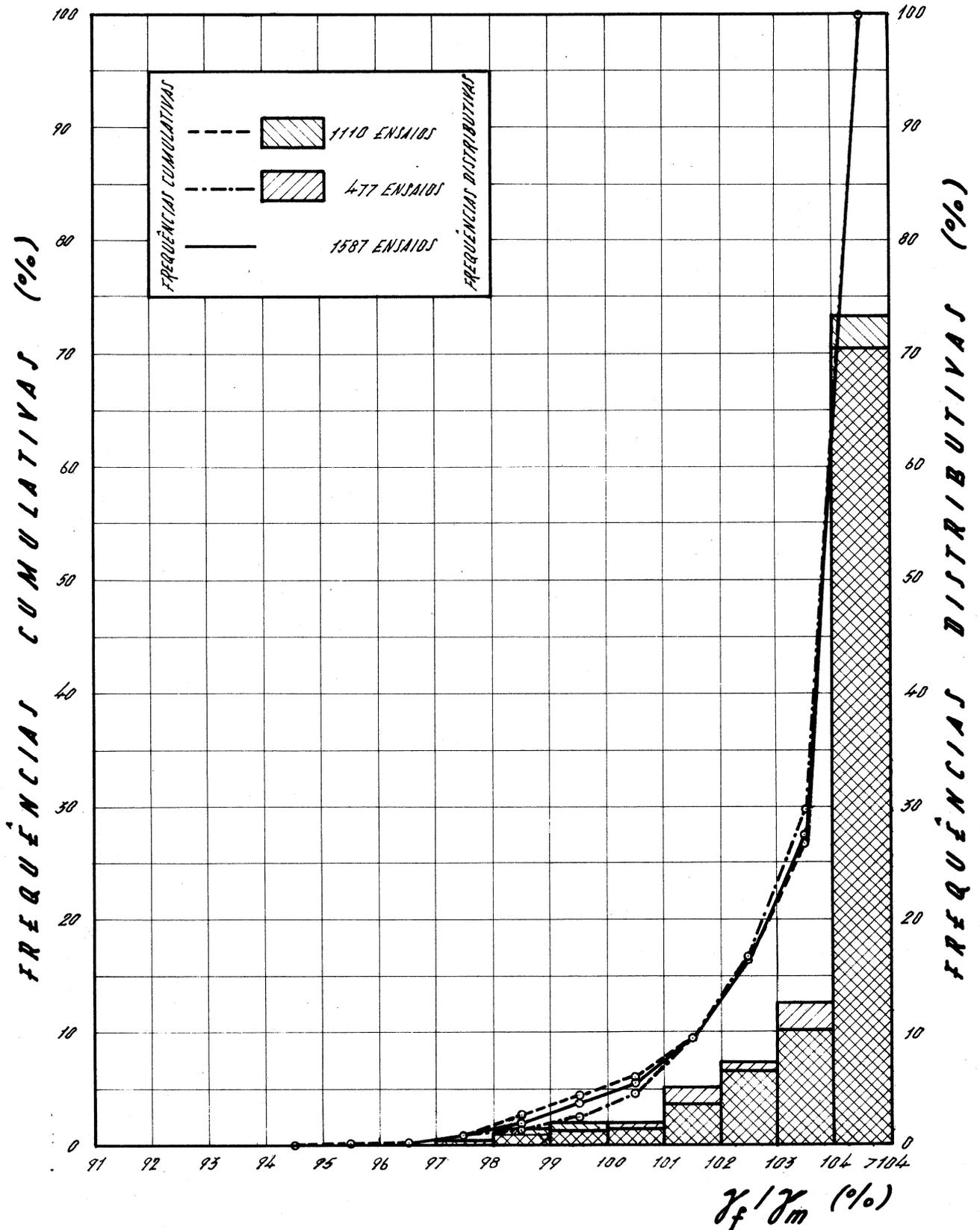


FIG. 9

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
NUCLEO CENTRAL

AFAST. DOS TEORES DE HUMIDADE
0,10 m DE PROFUNDIDADE

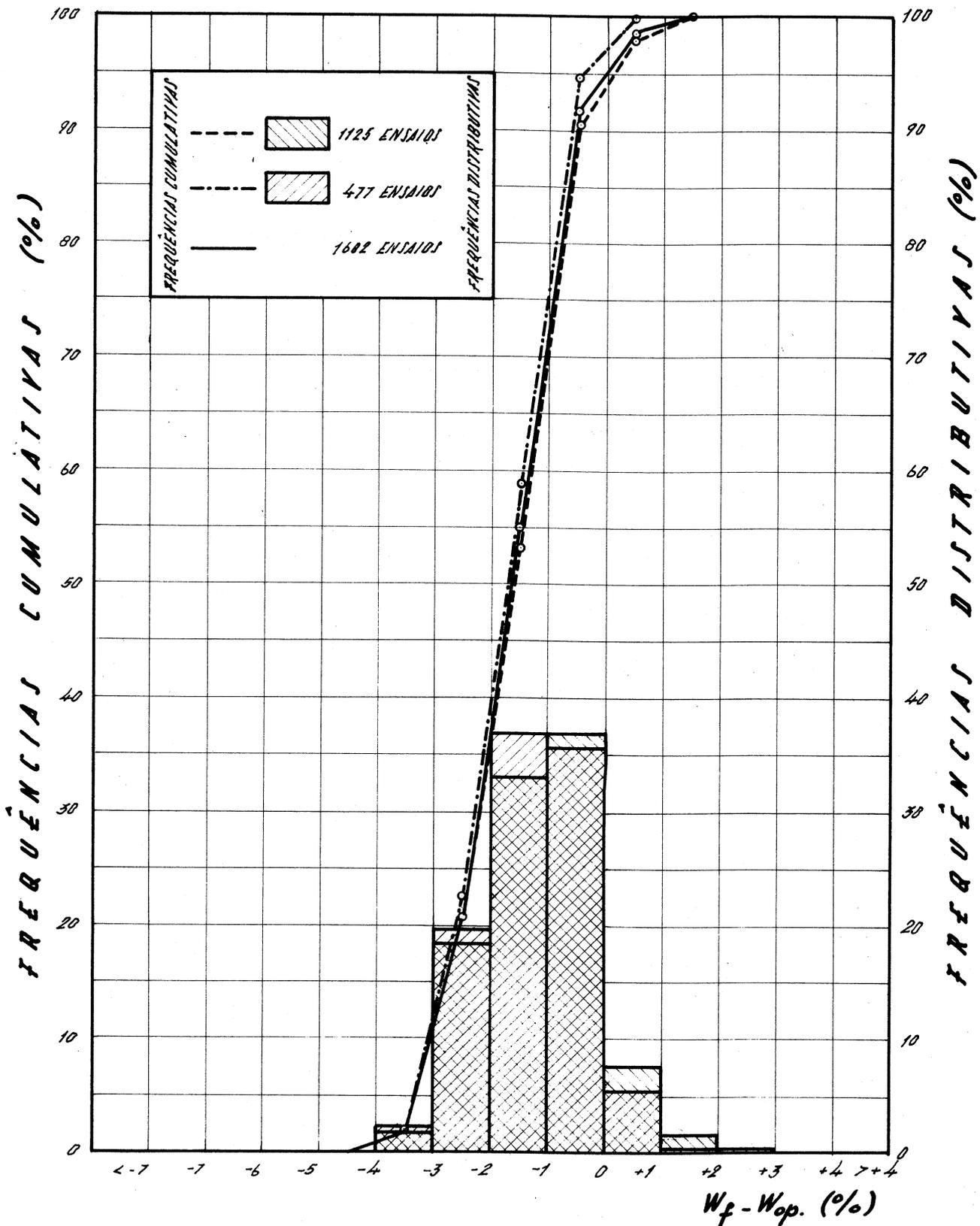


FIG. 10

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
NÚCLEO CENTRAL

COMPACTAÇÕES RELATIVAS
0,35 m DE PROFUNDIDADE

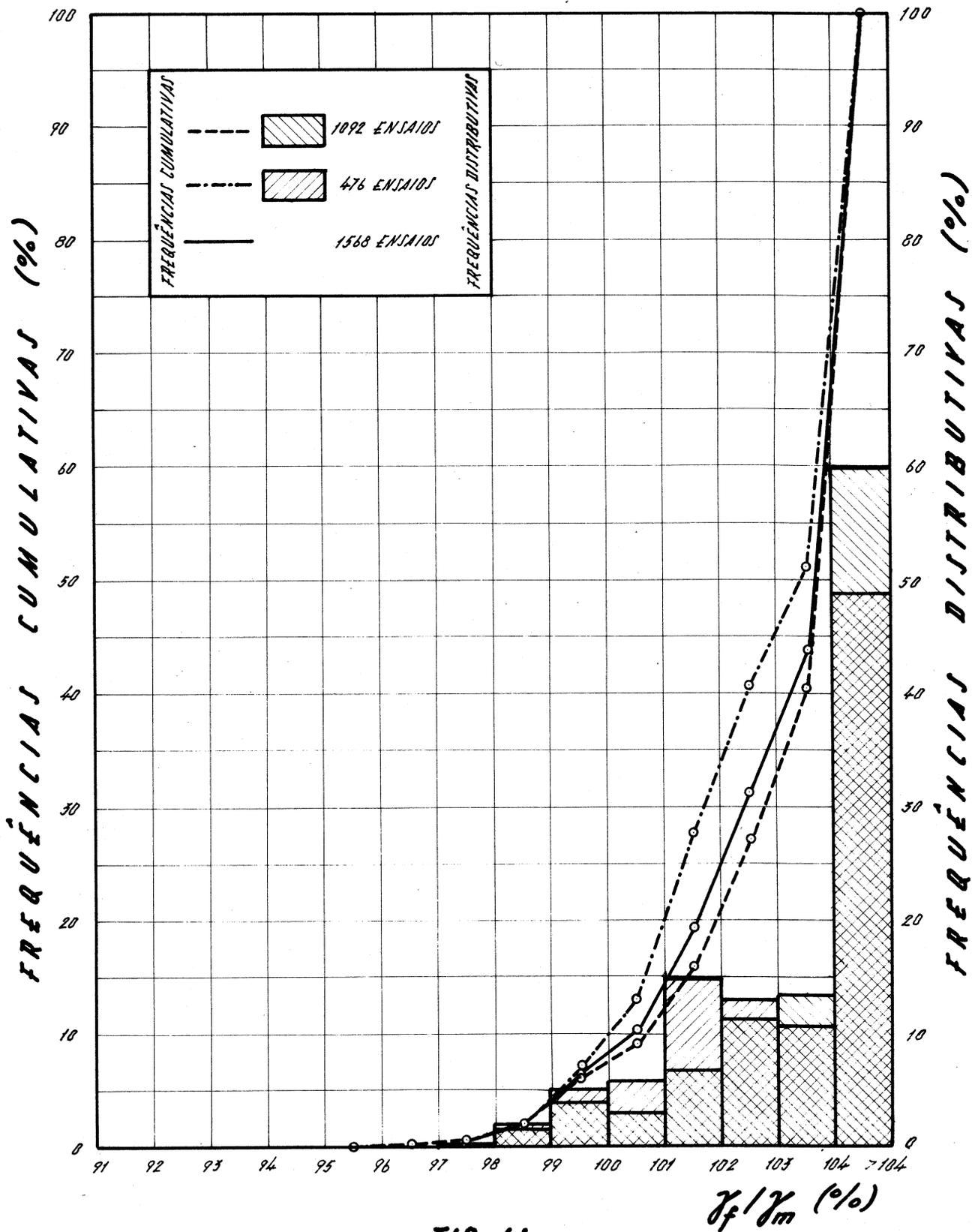


FIG. 11

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
NÚCLEO CENTRAL

AFAST. DOS TENDRES DE HUMIDADE
0,35 m DE PROFUNDIDADE

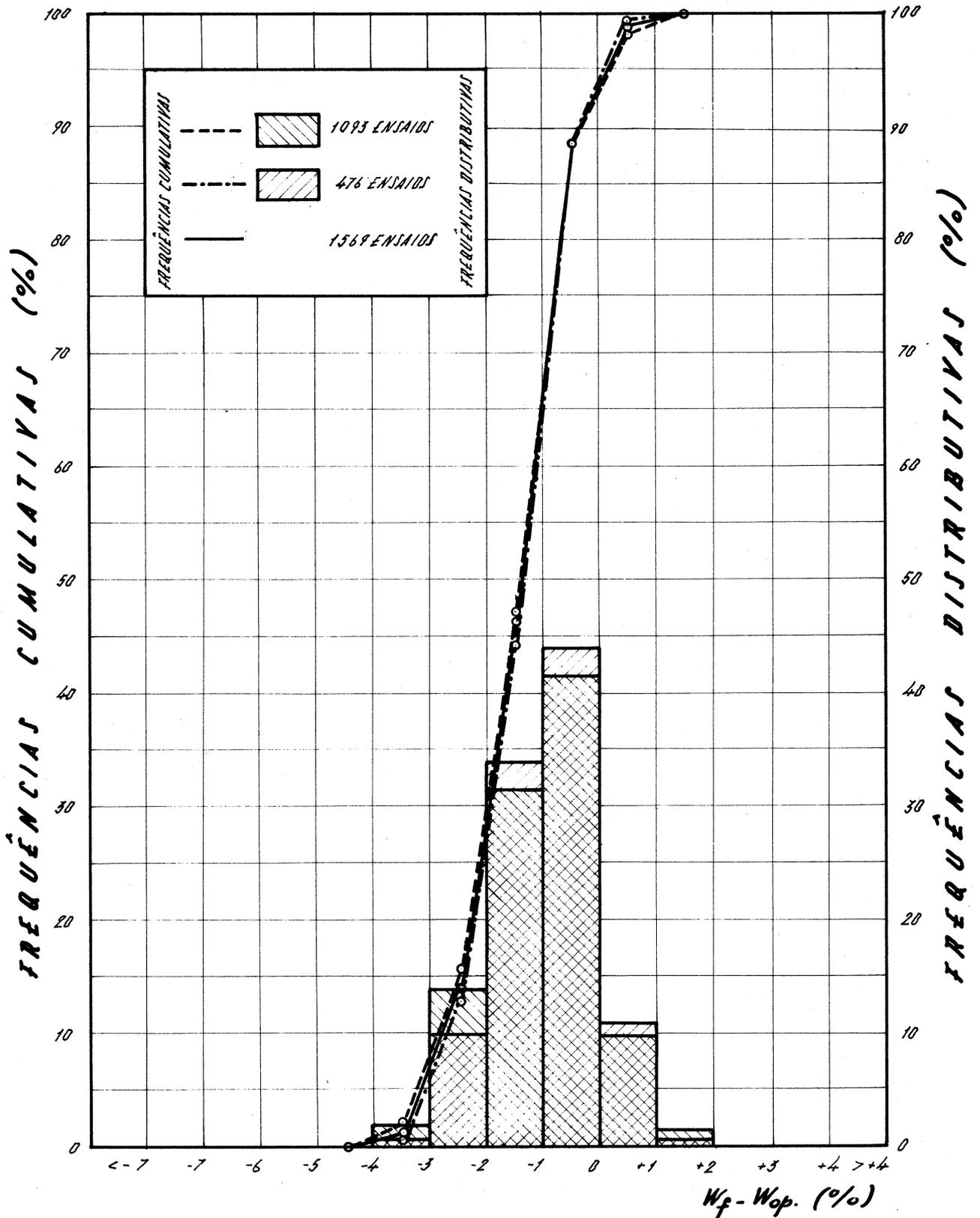


FIG. 12

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
NÚCLEO CENTRAL

COMPACTAÇÕES RELATIVAS
CONTROLE A DUAS PROFUNDIDADES

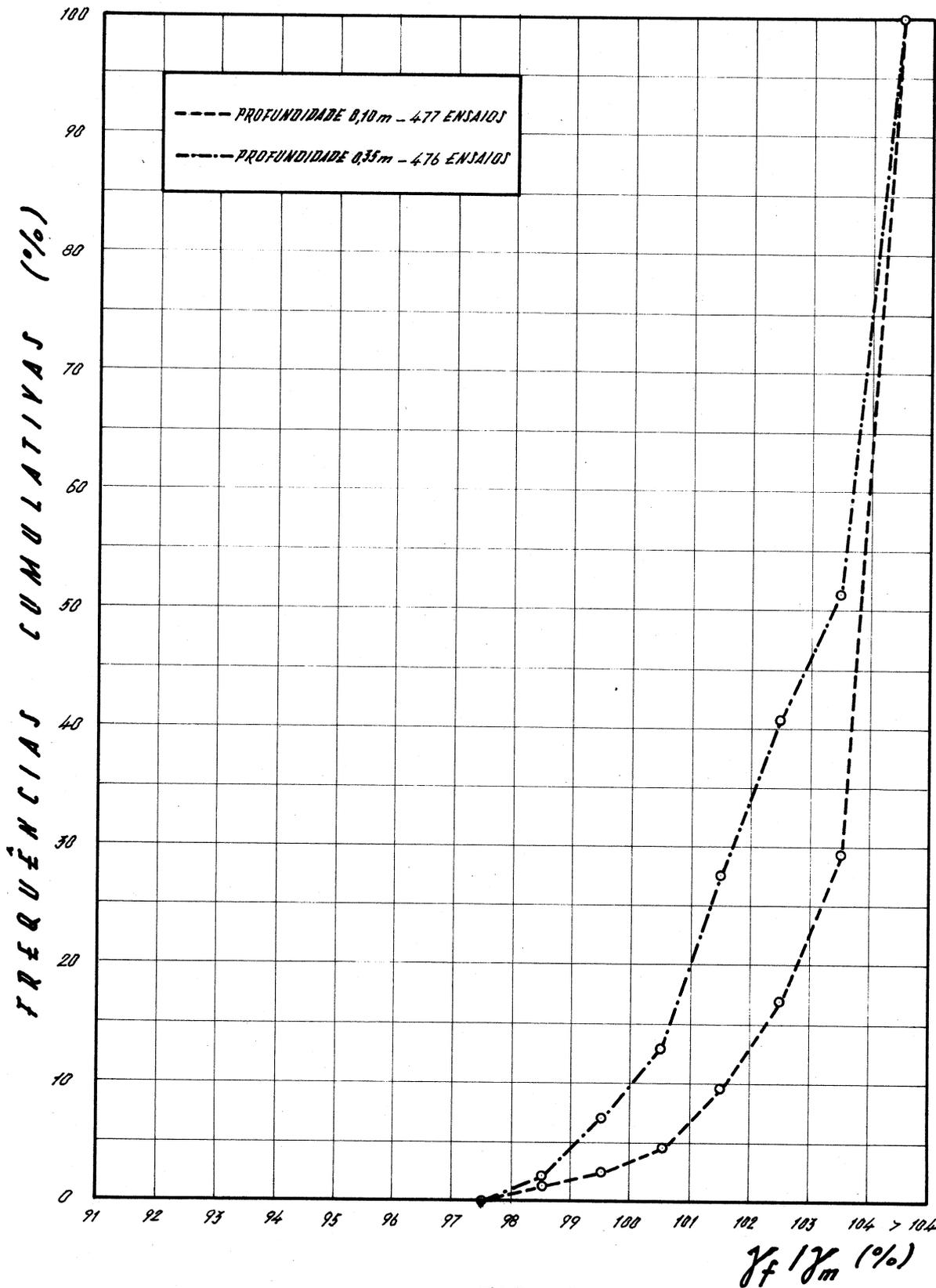


FIG. 13

γ_f / γ_m (%)

BARRAGEM DO MIRA

CONTROLE DE COMPACTAÇÃO

ANÁLISE ESTATÍSTICA
NÚCLEO CENTRAL

AFAST. DOS TEORES DE HUMIDADE
CONTROLE A DUAS PROFUNDIDADES

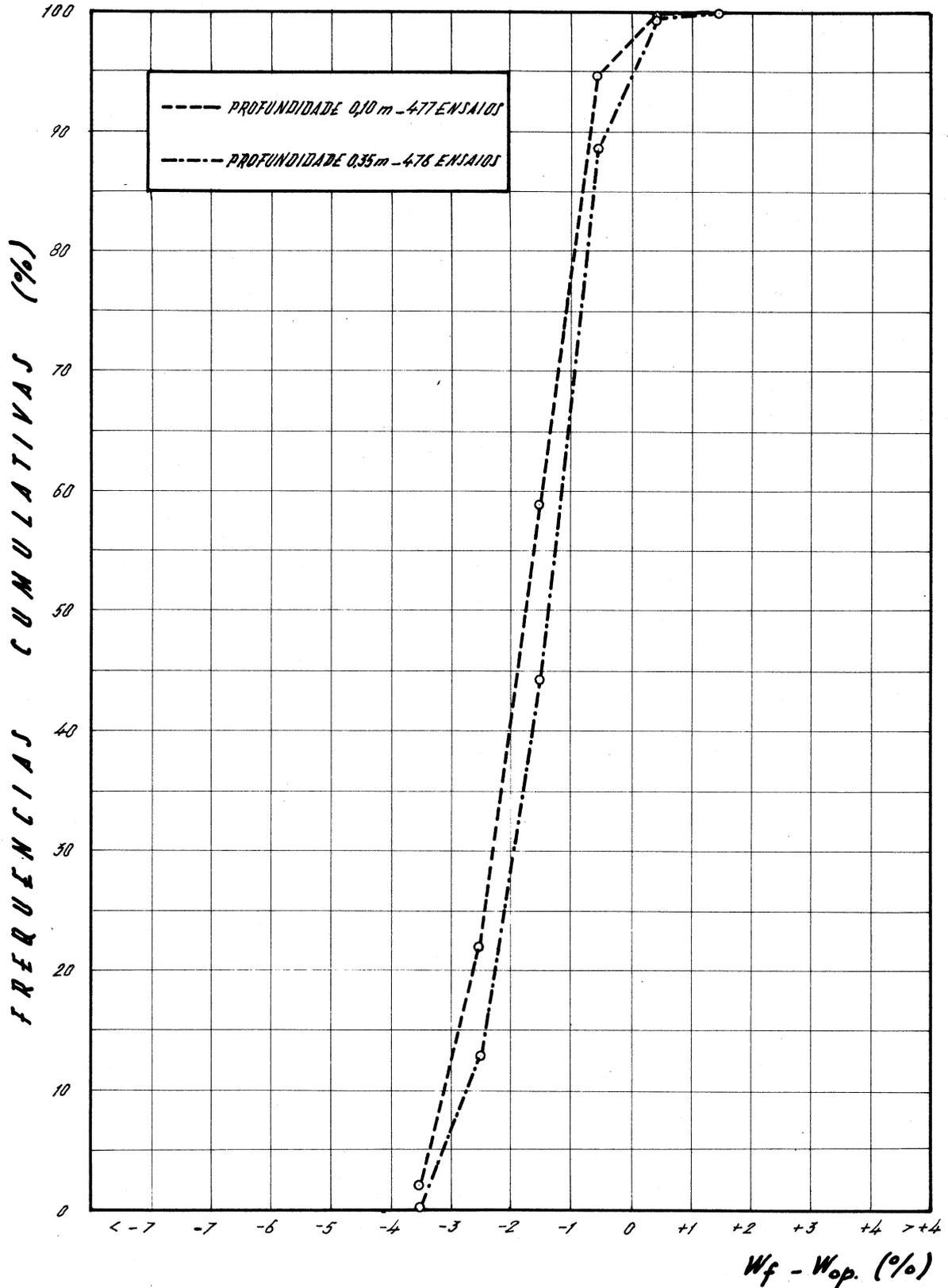


FIG. 14

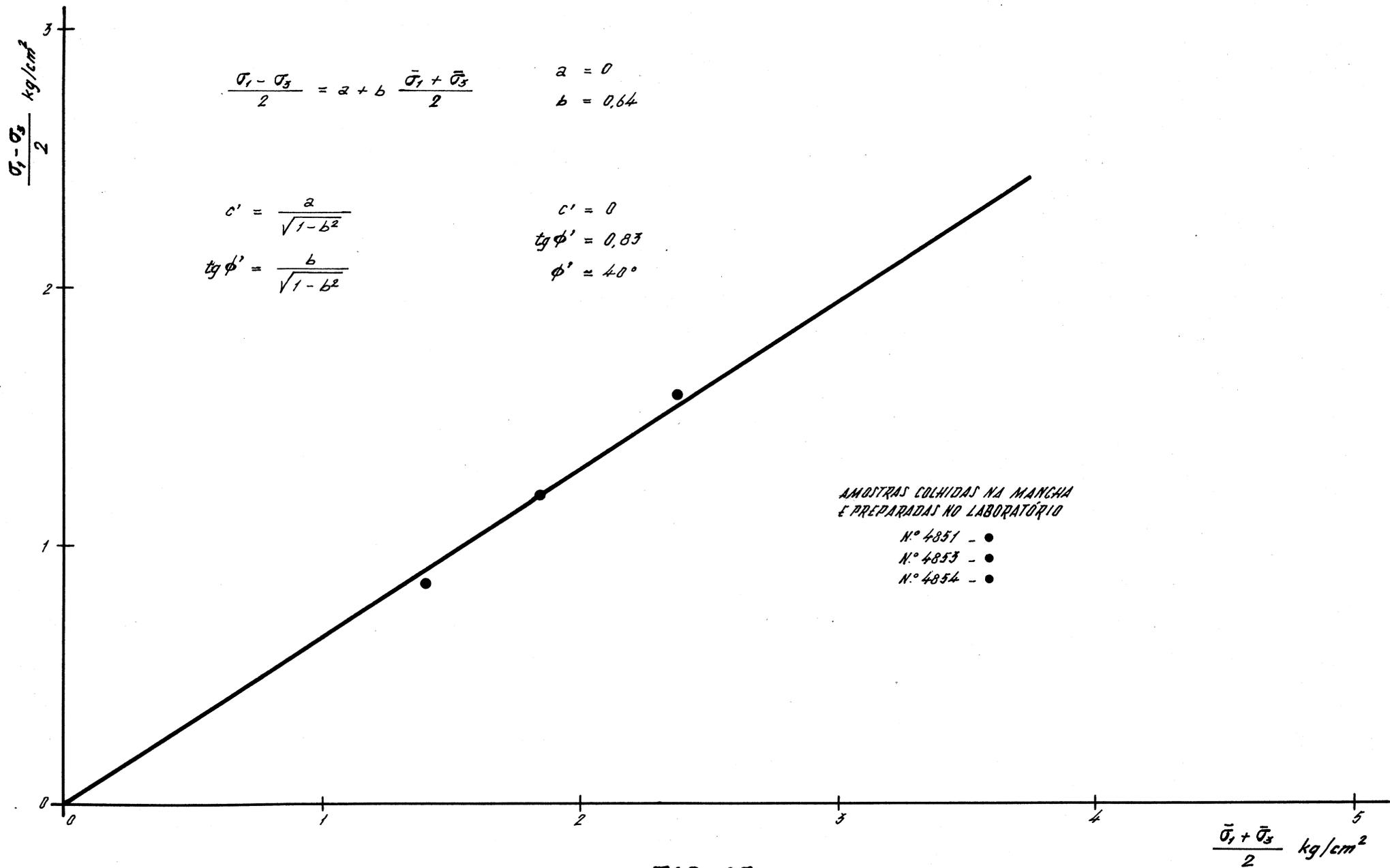


FIG. 15

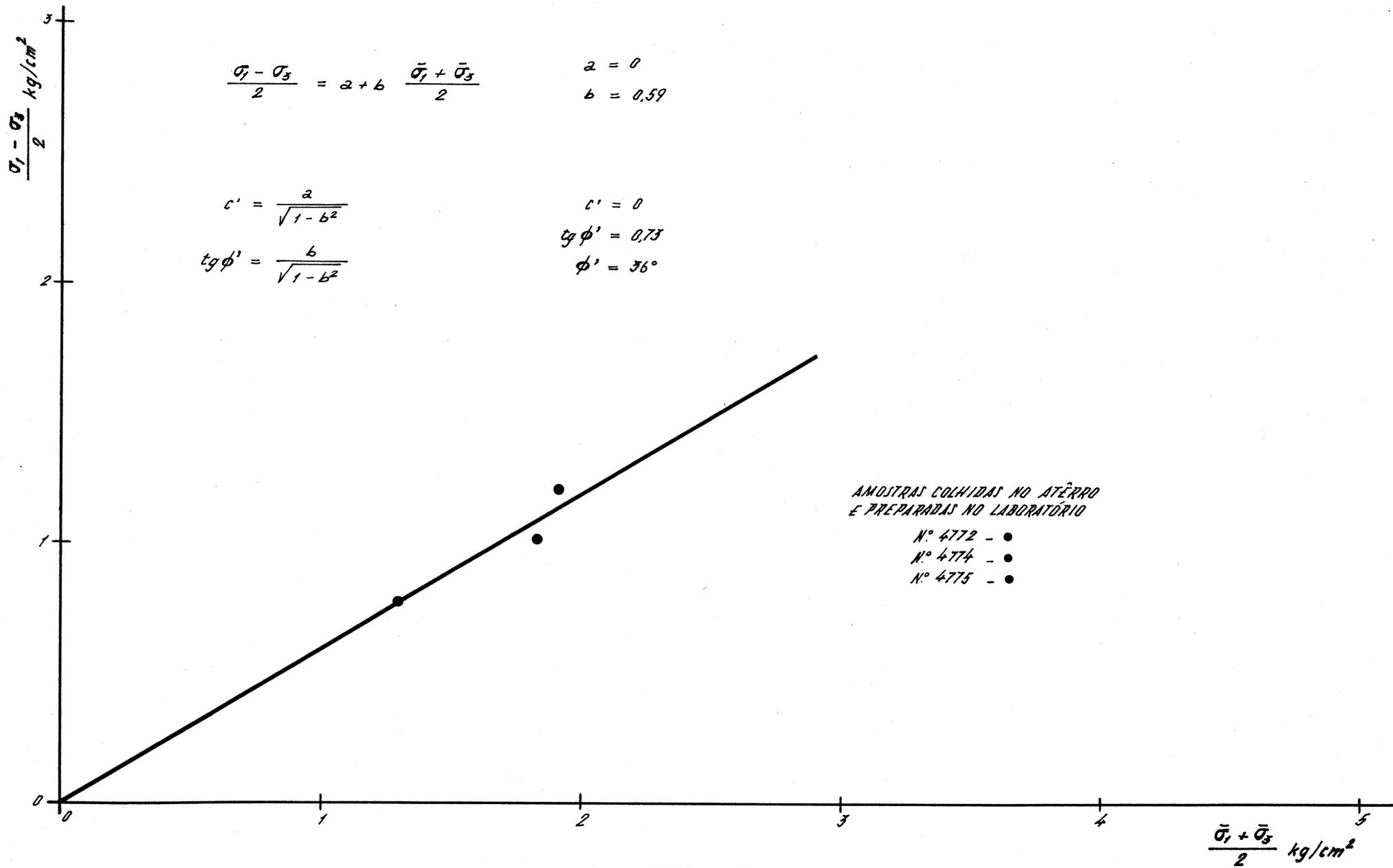


FIG. 16

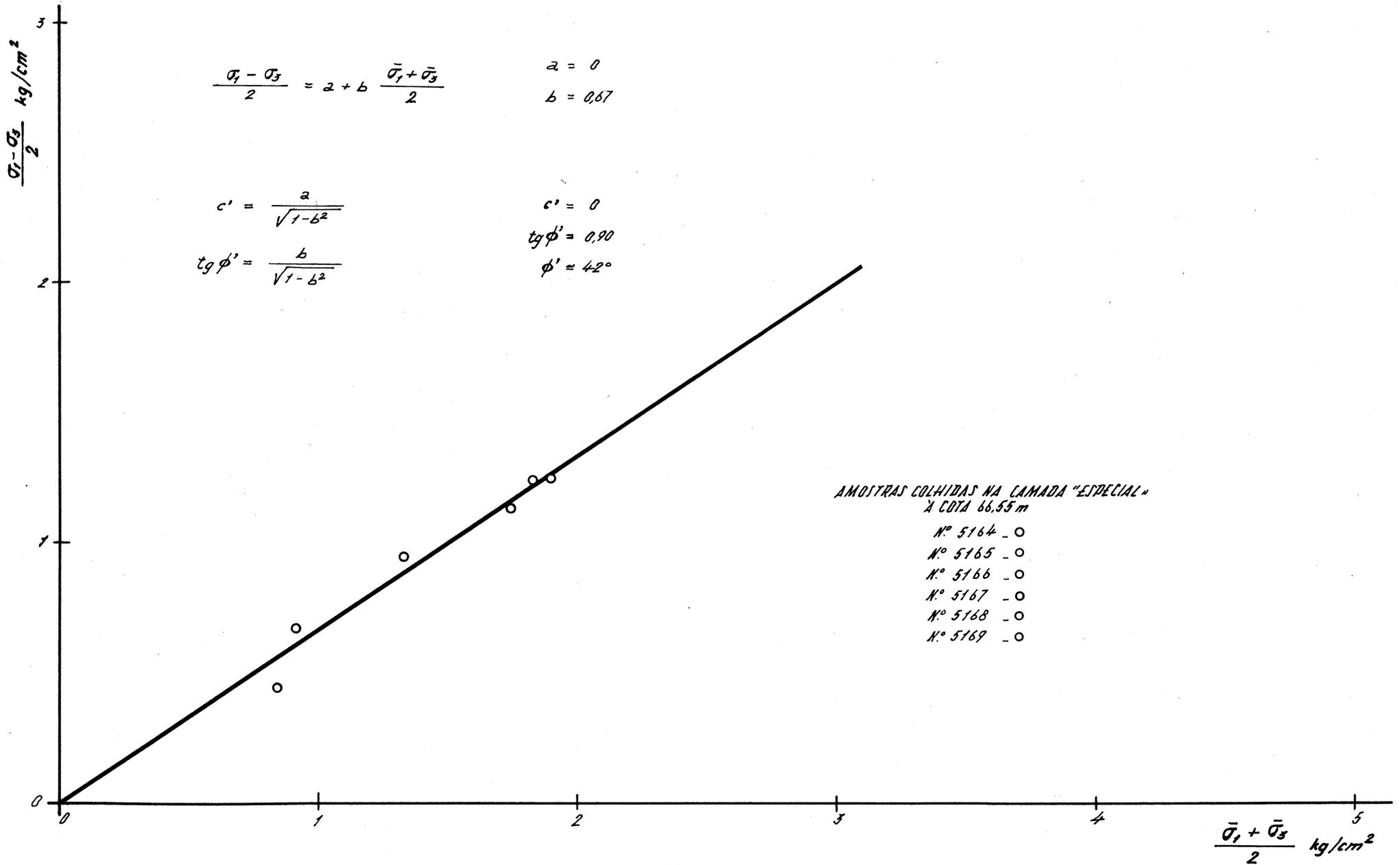


FIG. 17

L.N.F.C. PROC. 53/1/12335 MARÇO 1989

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = a + b \frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3}{2}$$

$$a = 0,02 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 0,65$$

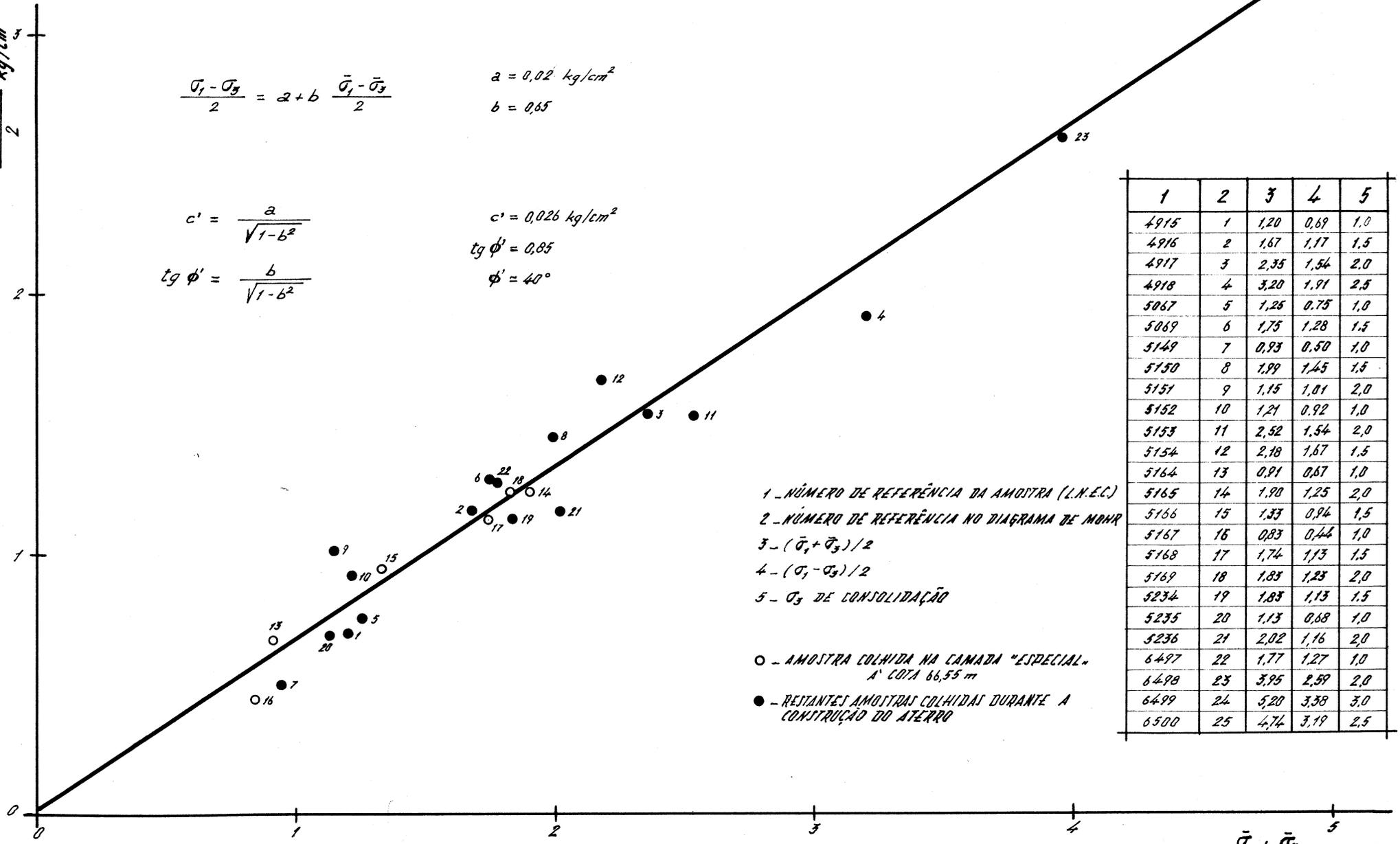
$$c' = \frac{a}{\sqrt{1-b^2}}$$

$$c' = 0,026 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{tg } \phi' = \frac{b}{\sqrt{1-b^2}}$$

$$\text{tg } \phi' = 0,85$$

$$\phi' = 40^\circ$$

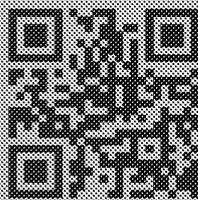


- 1 - NÚMERO DE REFERÊNCIA DA AMOSTRA (L.N.E.C.)
- 2 - NÚMERO DE REFERÊNCIA NO DIAGRAMA DE MOHR
- 3 - $(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3) / 2$
- 4 - $(\sigma_1 - \sigma_3) / 2$
- 5 - σ_3 DE CONSOLIDAÇÃO
- - AMOSTRA COLHIDA NA CAMADA "ESPECIAL" A COTA 66,55 m
- - RESTANTES AMOSTRAS COLHIDAS DURANTE A CONSTRUÇÃO DO ATERRO

	1	2	3	4	5
4915	1	1,20	0,69	1,0	
4916	2	1,67	1,17	1,5	
4917	3	2,35	1,54	2,0	
4918	4	3,20	1,91	2,5	
5067	5	1,25	0,75	1,0	
5069	6	1,75	1,28	1,5	
5149	7	0,93	0,50	1,0	
5150	8	1,99	1,45	1,5	
5151	9	1,15	1,01	2,0	
5152	10	1,21	0,92	1,0	
5153	11	2,52	1,54	2,0	
5154	12	2,18	1,67	1,5	
5164	13	0,91	0,67	1,0	
5165	14	1,90	1,25	2,0	
5166	15	1,33	0,94	1,5	
5167	16	0,83	0,44	1,0	
5168	17	1,74	1,13	1,5	
5169	18	1,83	1,23	2,0	
5234	19	1,83	1,13	1,5	
5235	20	1,13	0,68	1,0	
5236	21	2,02	1,16	2,0	
6497	22	1,77	1,27	1,0	
6498	23	3,95	2,59	2,0	
6499	24	5,20	3,38	3,0	
6500	25	4,74	3,19	2,5	

FIG. 18

$$\frac{\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_3}{2} \text{ kg/cm}^2$$



www.lnec.pt

AV. DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt • www.lnec.pt