

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA CAL (ENVELHECIMENTO)
NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS

IVANISE SOUTO MAIOR

CAMPINA GRANDE - PB.
Dezembro - 1983

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA CAL (ENVELHECIMENTO)
NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS

IVANISE SOUTO MAIOR

CAMPINA GRANDE-PB

DEZEMBRO - 1983

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

IVANISE SOUTO MAIOR

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA CAL (ENVELHECIMENTO)
NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS

Dissertação apresentada ao Cur
so de Mestrado em Engenharia Ci
vil da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento às exi
gências para obtenção do grau
de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : GEOTECNIA

HEBER CARLOS FERREIRA
ORIENTADOR

FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA
CO-ORIENTADOR

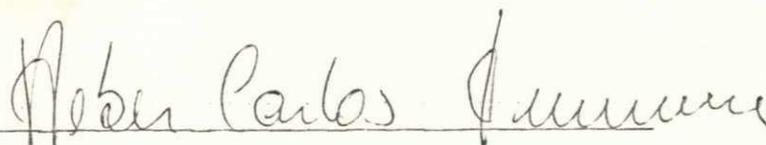
CAMPINA GRANDE-PB

DEZEMBRO - 1983

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA CAL (ENVELHECIMENTO)
NA ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS LATERÍTICOS

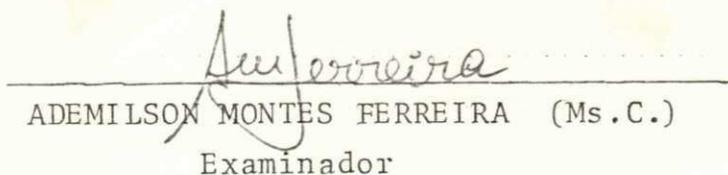
IVANISE SOUTO MAIOR

DISSERTAÇÃO APROVADA EM:



HEBER CARLOS FERREIRA (Dr. Eng.)

Orientador



ADEMILSON MONTES FERREIRA (Ms.C.)

Examinador



JEAN PIERRE DEMARTINECOURT (Ph.D.)

Examinador

CAMPINA GRANDE-PB

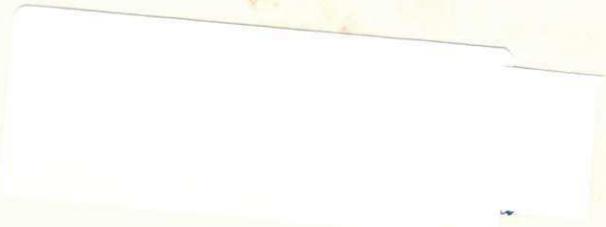
Dezembro - 1983

PENSAMENTO

"Cem vezes por dia eu lembro a mim mesmo que minha vida, tanto material como interior, é baseada no trabalho de outros homens, vivos e mortos, e que eu devo me esforçar por oferecer na mesma medida que recebi e recebo."

Einstein

OFERECIMENTO



Ao Casal: Dr. Luiz Rocha e D^{ra}
Margarida da Mota Rocha, pelo
apoio e carinho que me deram,
tornando possível a realização
deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Dr. HEBER CARLOS FERREIRA pelo estímulo constante, críticas construtivas, revisão do texto, incentivo e dedicação recebidas sem os quais ficaria impossível a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior (ATECEL) pelo apoio financeiro prestado, indispensável à realização deste trabalho.

Ao mestre FRANCISCO BARBOSA DE LUCENA, Coordenador da Área de Geotécnica pelo apoio constante e orientação durante todo o período de realização deste trabalho.

A todos os Laboratoristas que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho, em especial a JOSÉ BATISTA DOS SANTOS, ELPÍDIO JOSÉ ALMEIDA UCHÔA e FRANCISCO DE ASSIS SANTANA, e aos funcionários WINDSOR RAMOS DA SILVA pela confecção dos desenhos e WDILSON BEZERRA CAMPOS pela datilografia deste trabalho.

Aos amigos, em especial, a família ROCHA/MOTA pelo apoio, compreensão e reflexo de amizade desenvolvida durante a elaboração deste trabalho.

Finalmente a DEUS, que por intermédio destas pessoas se fez presente e me deu saúde e força para concluir este trabalho.

ABSTRACT

The stabilization of lateritic soils is usually done with lime. Nevertheless, the aged effects of hydrated lime in the stabilization are not well known. The aged occurs by the action of CO_2 of air in a carbonation reaction during storage.

The study presented here deals with the effects of two limes (new, aged), in the stabilization of three lateritic soils of Paraíba State. The characterization and technological tests were carried out following the methodology of laboratory of mineral Analysis of CCT and of DNER.

The following properties of soils-lime mixtures (for three soils and two lime) with 0%, 3%, 6% and 9% of lime and cure periods of 7, 14, 28 and 56 without immersion and three different moisture contents for moulding were studied. For determination of simple compression strength of soil-lime and later on the obtain ideal percentage of lime test structures were prepared, aged and tested. After cure periods, simple compression tests were carried out to study the influence of lime percentage, cure time and minimum quantity of lime necessary for adequate value of simple compression strength.

With the results obtained, it may be verified that lime quality is fundamental in the road stabilization.

Because of damaging effects caused by the use of aged lime and the fact that such effects are frequently neglected during the execution of road sections, a systematic control of lime quality must be carried out. In many of the cases studied maximum simple compression strength was obtained, therefore additional use of lime quantity is necessary.

The results are limited to the studied materials and hence extrapolation without specific verifications can not be

made.

More details about the present research are presented in the course of this study.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 822 Tel (083) 321-7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

R E S U M O

É normal a estabilização de solos lateríticos com cal. Contudo não são bem conhecidos os efeitos do envelhecimento das cais hidratadas na estabilização. O envelhecimento ocorre por ação do CO_2 do ar numa reação de carbonatação durante o armazenamento.

O trabalho aqui apresentado trata do estudo do efeito de duas cais (V e N), uma delas envelhecida em laboratório (Cal V), na estabilização de três solos lateríticos do Estado da Paraíba. Os ensaios realizados foram de caracterização e tecnológicos.

Os métodos de ensaios utilizados foram do laboratório de Análises Mineraiis do CCT e do DNER.

Foram estudadas as seguintes propriedades das misturas solo-cal (para os três solos e duas cais) com 0%, 3%, 6% e 9% de cal e nos tempos de cura 7, 14, 28 e 56 dias sem imersão, e em três umidades de moldagem diferentes. Para determinação da resistência à compressão simples do solo-cal e, posteriormente obtenção da percentagem ideal de cal, foram preparados, curados e testados corpos de prova. Tendo sido os corpos de prova curados nos tempos acima citados, foram submetidos a ensaios de compressão simples, para estudar a influência do percentual da cal, tempo de cura e determinação da quantidade mínima da cal para atender um valor adequado de resistência à compressão simples. Como resultado podemos verificar que a qualidade da cal é fundamental na estabilização rodoviária, devendo haver um controle de qualidade sistemático pois os efeitos danosos causados pelo uso de uma cal envelhecida mostra a necessidade de um controle de qualidade, frequentemente negligenciado quando da execução de

trechos rodoviários.

Em nenhum dos casos estudados foi obtido um máximo de resistência mecânica à compressão simples, havendo portanto, a necessidade do emprego de maiores quantidades de cal, sendo que os resultados obtidos com a cal N são bem superiores aos obtidos com a cal V, dado a sua condição de envelhecimento.

Estes resultados são limitados aos materiais estudados, não devendo portanto serem feitas extrapolações sem verificações específicas.

Maiores detalhes sobre a pesquisa são apresentados no decorrer do trabalho.

ABREVIACÕES UTILIZADAS

- LR - Lime reactivity
- RT - Reatividade de Thompson
- Ai - Índice de atividade pozolânica
- CTC - Capacidade de Troca de Cation
- DCTC - Diferença da capacidade de troca de cation
- HBR - Highway Research Board
- CBR - Califórnia Bearing Ratio
- RCS - Resistência à compressão simples
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- N - Nova
- V - Velha
- TEPB - Teixeira - Paraíba
- NFPB - Nova Floresta - Paraíba
- JPPB - João Pessoa - Paraíba
- γ_s - Massa específica aparente seca
- h - Umidade
- LL - Limite de liquidez
- LP - Limite de plasticidade
- IP - Índice de plasticidade
- KPa - KiloPascal
- SCH - Sílica, carbono, hidrogenio
- ACH - Alumínio, carbono, hidrogenio

Í N D I C E

		Página
CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO II	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2 -	INTRODUÇÃO.....	3
	2.1 - SOLOS LATERÍTICOS.....	3
	2.2 - OS SOLOS LATERÍTICOS NA GEOTECNIA RO- DOVIÁRIA.....	6
	2.3 - ESTUDO DA CAL.....	7
	2.4 - ESTABILIZAÇÃO COM CAL.....	9
	2.5 - INFLUÊNCIA DA CAL NAS PROPRIEDADES DE ENGENHARIA DOS SOLOS.....	11
	2.6 - COMPORTAMENTO DE SOLOS LATERÍTICOS ES- TABILIZADOS COM CAL.....	13
	2.7 - ESTUDO DOS TRABALHOS REALIZADOS SOBRE REATIVIDADE A CAL DOS SOLOS PESQUISADOS	15
CAPÍTULO III	OBJETIVO DA PESQUISA.....	23
CAPÍTULO IV	MATERIAIS.....	24
4 -	INTRODUÇÃO.....	24
	4.1 - SOLOS.....	24
	4.2 - GEOLOGIA DA ÁREA.....	24
	4.2.1 - Hidrografia e relêvo.....	24
	4.2.2 - Geologia e material originá- rio.....	25
	4.2.3 - Clima.....	26
	4.3 - JAZIDA DE TEIXEIRA - TEPB.....	26
	4.3.1 - Localização.....	26

	página
4.3 2 - Formação geológica.....	26
4.3.3 - Pedologia.....	27
4.3.4 - Clima.....	27
4.3.5 - Índice xerotérmico.....	27
4.3.6 - Precipitação.....	27
4.3.7 - Perfil geológico.....	27
4.4 - JAZIDA DE NOVA FLORESTA - NFPB.....	28
4.4.1 - Localização.....	28
4.4.2 - Formação geológica.....	28
4.4.3 - Pedologia.....	28
4.4.4 - Clima.....	28
4.4.5 - Índice xerotérmico.....	29
4.4.6 - Precipitação.....	29
4.4.7 - Perfil geológico.....	29
4.5 - JAZIDA DE JOÃO PESSOA - JPPB.....	29
4.5.1 - Localização.....	29
4.5.2 - Formação geológica.....	29
5.5.3 - Pedologia.....	30
5.5.4 - Clima.....	30
5.5.5 - Índice xerotérmico.....	30
5.5.6 - Perfil geológico.....	30
4.6 - CAL.....	32
4.7 - ÁGUA.....	32
CAPÍTULO V MÉTODOS.....	34
5 - INTRODUÇÃO.....	34
5.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	34
5.5.1 - Cal.....	34
5.5.2 - Granulometria.....	34

	página
5.1.3 - Limites de Atterberg.....	34
5.1.4 - Massa específica real.....	36
5.2 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	36
5.2.1 - Ensaio de compactação.....	36
5.2.2 - Ensaio de compressão <u>sim</u> ples.....	38
CAPÍTULO VI RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
6 - INTRODUÇÃO.....	43
6.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	43
6.1.1 - Cal.....	43
6.1.2 - Granulometria.....	43
6.1.3 - Limites de Atterberg.....	43
6.1.4 - Massa específica real.....	45
6.2 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	46
6.2.1 - Ensaio de compactação....	46
6.2.2 - Ensaio de compressão <u>sim</u> ples.....	55
CAPÍTULO VII CONCLUSÕES.....	66
CAPÍTULO VIII SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
TABELAS E FIGURAS.....	78

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Dentro da pavimentação rodoviária muitas jazidas de solos lateríticos tem deixado de ser usado em virtude dos materiais "in natura" não atender totalmente as especificações exigidas para os mais diversos fins. Por outro lado a escassez de solos adequados, próximo ao local das obras, tem provocado um aumento considerável nos custos de construção de estradas em virtude do preço dos combustíveis.

Assim sendo, tem-se procurado utilizar materiais locais quando economicamente viáveis ou estabilizados com aditivos (cimento, cal, betume, etc). A utilização de solos lateríticos com cal, é um assunto ainda não totalmente esclarecido, existindo ainda muitas contradições relacionadas com as propriedades do solo-cal. Nos trabalhos realizados sobre estabilização de solos lateríticos com cal, geralmente não tem sido considerado o efeito da qualidade da cal utilizada, bem como o efeito da granulometria deste aditivo (Lucena, 1977; Bezerra, 1978, Queiroz de Carvalho, 1979 e 1980).

Um aspecto importante e que frequentemente tem sido negligenciado é o controle de qualidade da cal. As cais pela ação do CO_2 do ar e da umidade residual tem uma lenta reação de carbonatação, tornando-se portanto imprestáveis para uso (envelhecidas). Além da carbonatação temos o problema do envelhecimento pela queima indevida do calcário e também pelo excesso d'água de hidratação. Sendo que os dois últimos fatores não podemos controlar, pois neste caso já recebemos da indústria cais envelhe-

cidas.

Um controle simplificado para determinação do envelhecimento, pode ser feito pela determinação da perda ao fogo que de ve-se situar na faixa de 20 a 25%. Valores mais elevados são in dicativos de um processo de carbonatação em andamento.

Quanto a granulometria sua influência é marcante pois a cinética de uma reação, dentre outros fatores, depende da super fície de contato. Deve ser lembrado que os métodos granulométr icos em peneiras podem ser insuficientes para avaliar este parâ metro tendo-se de lançar mão dos métodos mais sofisticados, Fer reira, (1972, 1974 e 1983). Mas para um controle de qualidade da cal em campo é de grande importância.

Finalmente tem sido observada uma grande sensibilidade dos solos lateríticos relativamente a variações da umidade de moldagem em torno da umidade ótima ou da umidade que corresponde a resistência à compressão máxima e este problema poderá es tar relacionado com a cal utilizada, Lima, (1983).

Justificativa

A escolha dos solos, como do aditivo cal, deve-se ao fa to dos solos já terem sido pesquisados por outros autores (Ferro, (1976), Bezerra, (1976), Lucena, (1977), Queiroz de Carvalho, (1979), Aflitos, (1981), Lima, (1983)) e outros, persistindo ainda dúvidas quanto a sua reatividade a cal. Quanto ao aditivo deve-se ao fato de ser um material largamente utilizado pa ra estabilização de solos, bem como já existir na atualidade um razoável conhecimento sobre o mecanismo de sua ação nos solos, além do fato de ser um material de construção largamente exis tente na região.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica relacionada com esta pesquisa, abordando distintamente solo laterítico, os solos lateríticos na geotecnia rodoviária, estudo da cal, estabilização com cal, influência da cal nas propriedades de engenharia de solos, comportamento dos solos lateríticos estabilizados com cal e um estudo detalhado dos trabalhos realizados sobre reatividade à cal dos solos pesquisados.

2.1 - SOLOS LATERÍTICOS

O termo "laterita" originalmente foi utilizado por Buchanan em (1808) para caracterizar a argila existente no sul da Índia que tinha a propriedade de endurecer quando exposta ao ar, após ter sido talhada em blocos com forma de tijolos. Buchanan deu o nome laterita (do latim - later - tijolos) a esta argila e não ao ferro existente em camadas e veios destacados (Novais 1963).

A partir de então o termo laterita passou a assumir significados diferentes e por vezes conflitantes. Várias definições tem sido propostas, no entanto ainda não existe uma definição precisa e universalmente aceita de laterita.

Martin e Doyne (1930) classificaram como lateritas, aqueles solos que apresentaram uma relação molecular sílica alumina menor que 1,33.

Melo e outros indicam que no Brasil há a tendência de se adotar os conceitos por Novais Ferreira (1963) que são baseados nas definições dadas por Du Perez e Pendleton e pelos laboratórios de Engenharia Portuguesa. Contudo as especificações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) define os so

los vermelhos produzidos por laterização como segue:

"Solo laterítico: o solo cuja fração coloidal (abaixo de 2 microns) apresenta relação sílica/sesquióxidos menor que 2 e, em conjunto as seguintes características: presença apreciável de sesquióxidos de ferro, tendência para o concrecionamento e endurecimento solo exposição ao sol, baixa expansibilidade e baixo teor de matéria orgânica".

Lucena (1975) fazendo uma ampla revisão de literatura sobre definições de laterita, concluiu que, do ponto de vista do engenheiro interessado na utilização do material, uma definição exata não é possível, nem necessária desde que está claro que, o que precisamos não permite uma definição única e a grande variedade de comportamento destes solos, sendo todos eles "solos vermelhos produzidos por um processo de laterização".

Os sistemas de classificação de solos lateríticos são muitos e geralmente orientados para servir um propósito particular. Assim, pedólogos, geólogos e cientistas de solos utilizam sistemas de classificação que servem bem seus propósitos.

As dificuldades em aceitar uma classificação única de solos lateríticos, devido a sua grande variedade, tem se refletido nos estudos de engenharia. A classificação que no momento parece de certa utilizada na engenharia civil é a que foi apresentada pela United States Agency for International Development (USAID, (1971)) em seu estudo sobre solos lateríticos da Africa. Esta classificação está baseada numa correlação estatística entre a classificação simplificada de D'Hoore (1971) e as propriedades de engenharia dos solos lateríticos obtidos pela USAID. Dada a sua importância são apresentados a seguir os três grupos que formam esta classificação e as propriedades de cada grupo.

Solos ferruginosos - solos tropicais laterizados que ocorrem em regiões áridas, em áreas com pronunciadas estação seca. For

mando-se sobre todo tipo de rocha, sendo comum encontrar couraças ferruginosas nas regiões onde ocorrem estes solos, sendo estas duras e duráveis. Estes solos exibem baixos limites de Atterberg, altos valores de densidade e CBR. Não ocorrem os argilos minerais haloisita e alofanô e a gipsita também não ocorre, ou é pouco comum nestes solos.

Solos ferralíticos - solos tropicais laterizados que ocorrem em regiões úmidas e em áreas com vegetação densa. Estes solos são também formados sobre todo tipo de rocha. São relativamente comuns as couraças ferruginosas, no entanto, não apresentam a mesma dureza e durabilidade daqueles de regiões ferruginosas, devido não terem sido submetidas a uma completa desidratação. Estes solos apresentam uma plasticidade mais alta e valores de densidade e CBR mais baixos do que os solos ferruginosos. A gipsita e outras formas de alumina hidratadas são bastante comuns. A haloisita é comum sobre rochas vulcânicas.

Ferrisolos - ocorrem sobre qualquer tipo de rocha em áreas de média e alta precipitação pluviométrica, onde a erosão tem ocorrido simultaneamente ao desenvolvimento do perfil. A caulinita é o argilo mineral predominante, todavia a goetita pode ocorrer.

Os materiais argilosos possuem alta grau de hidratação, daí a similaridade com os solos ferralíticos. Estes solos apresentam uma plasticidade mais alta e valores de densidade e CBR mais baixos do que os solos ferruginosos.

2.2 - OS SOLOS LATERÍTICOS NA GEOTECNIA RODOVIÁRIA

Os chamados solos lateríticos apresentam comportamento rodoviário superiores ao previsto pelas especificações usuais da geotecnia rodoviária. Por outro lado, as concreções lateríticas podem ser fonte de agregados para os revestimentos.

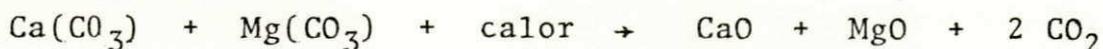
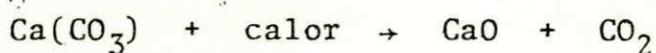
Em primeira aproximação os solos lateríticos, quer como subleito dos pavimentos quer como camada constituinte deles (reforço, sub-base e base), são avaliados da seguinte maneira:

- granulometria - informa a boa ou má distribuição dos graúdos (o que fica retido na peneira nº 200) e sobre a quantidade de finos (o que passa na peneira de nº 200).
- o LL e o IP - informam sobre a natureza dos finos (aqui o que passa na peneira nº 40).
- com os resultados da granulometria, do LL e do IP, classifica-se um solo num determinado grupo - classificação do HRB e se atribui um valor (de 0 a 20, escala decrescente de qualidade), que representa o comportamento do solo (principalmente dos solos finos). Esta é chamada de índice de grupo.
- a resistência do subleito é apreciada simultaneamente com os dados acima e com o resultado de um ensaio de penetração mecânica feito no solo compactado, após 4 dias de imersão n'água - Índice de CBR. No ensaio de CBR mede-se também a expansão do solo no fim de cada 4 dias.
- a resistência da fração pedregulho à desintegração pela compactação na construção e pelo efeito posterior do tráfego é medida no ensaio de abrasão Los Angeles.

Acontece que os finos dos solos lateríticos tem propriedades cimentícias. Um solo laterítico pode apresentar alta fração passando na peneira nº 200 e ter bom comportamento; os finos podem apresentar relativamente altos LL (acima de 35) e altos IP (acima de 15) e apresentar bom comportamento, sem acusarem inchamento apreciável no ensaio de CBR (menor que 0,5%). Se o Los Angeles é alto (acima de 50%) pode acontecer que parte dos graúdos seja constituído por concreções cimentícias que, se desmorroando, fornecem finos cimentícios.

2.3 - ESTUDO DA CAL

Cal é um produto obtido pela calcinação a uma temperatura inferior à de fusão de calcáreo calcíticos ou dolomíticos .



Além desses constituintes principais, como CaO, MgO e CO₂, diversos outros elementos, alguns com participação substancial - Fe, Al, Si, P, K, Mn, S e outros como traço - Co, Bo, Cu Zn, Mo fazem parte da composição química dos calcários.

Chama-se cal calcítica (CaO), a que contém menos de 20% de MgO e a cal dolomítica, a que contém 20% ou mais de MgO.

Os óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO) são designados de cais virgens.

Chama-se cal hidratada o aglomeramento obtido pela calcinação, a temperatura apropriadas, de calcáreo argilosos, de modo que, no produto, aparecem silicatos que lhe conferem propriedades hidráulicas. As cais hidráulicas estão praticamente em desuso, em face da utilização do cimento-portland, que é o aglomerante hidráulico por excelência.

Define-se por rendimento da cal a quantidade de cal virgem necessária para produzir certa quantidade de cal em pasta . Quanto ao rendimento classificam-se as cais em:

- a) cal magra - rendimento inferior a 1,82
- b) cal gorda - rendimento superior a 1,82

Além do rendimento determinado de acordo com a consistência da pasta, a cal apresenta outras propriedades, sendo as principais:

- a) Plasticidade - define a facilidade ou dificuldade de manuseio com as pastas ou argamassas de cal. Através das experiências conclui-se que a cal calcítica produz uma certa argamassa menos trabalhável que a cal magnésiana.
- b) Endurecimento - importante no estudo da estabilização da argila-orgânica com cal virgem, o endurecimento ocorre com abserção de CO_2 , só se realizando fora d'água.
- c) Retração - na ocasião da carbonatação do hidróxido, ocorre uma certa perda de volume, denominada retração.

Juntamente com estas propriedades, deve-se conhecer pelo menos algumas das seguintes variáveis:

- 1 - Tipo de rocha que produziu a cal.
- 2 - Tipo de calcinação que produziu a cal.
- 3 - Característica da cal produzida, informada pelos índices relativos à contração em relação a rocha regional, porosidade densidade, área superficial e densidade aparente.

Em todas as aplicações da cal, particularmente naquelas onde se exige a alta efetividade de predicados semelhante ao de troca iônica, o exame desses fatores juntamente com a análise química, são de alta importância para o custo e a perfeição da

operação ou obra. Sendo que um controle através da análise química e peneiramento, já seja suficiente para sabermos o tipo e qualidade da cal que estamos utilizando na estabilização de solos.

2.4 - ESTABILIZAÇÃO COM CAL

As mudanças nas propriedades físicas dos solos como um resultado da estabilização, são devidas as reações entre os produtos químicos, agregados e componentes mineralógicos.

Estabilizar um solo é modificar qualquer propriedade do solo com a finalidade de melhorar suas características para utilização em obras de engenharia. Sabemos que as finalidades da estabilização são diversas, entre elas podemos citar:

- a) aumento da resistência (RCS, CBR e Triaxial)
- b) aumento ou diminuição da permeabilidade
- c) reduz a compressibilidade, etc.

Não existe reação solo-cal o que reage é o Ca mais os elementos dos solos, no caso Si, Al, Fe. Quando a cal entre em contatos com os finos do solo em presença d'água, inicia-se um conjunto de reações. Embora não estejam definitivamente explicados o tipo e a origem destas reações, existe um consenso em agrupá-las em três classes:

- Reação de troca de cátions
- Reação de carbonatação
- Reação pozolânica.

Sendo as duas primeiras relegadas a um segundo plano, por alguns autores que, embora reconhecendo a existência daqueles exortam a importância das reações pozolânicas, afirmando serem estas as responsáveis pelo processo de estabilização dos solos.

Reação de Troca de Cátions (floculação/agregação)

Ao entrar em contato com o sistema solo-água, os elementos da cal, se dissocia^m em cátions de cálcio e ânions de hidróxilas, iniciando-se um processo de troca de cátions, onde os íons de cálcio substituem os íons mais fracos existentes, ocorrendo ainda aglomeração adicional de cátions, em torno das partículas do argilo mineral, resultando em um balanceamento das cargas negativas das argilas. Modifica-se deste modo, a estrutura do solo, reduzindo-se o seu índice de plasticidade, características de inchamento e possibilitando floculação das partículas, Davidson e Hilt (1960).

Estas modificações conferem assim ao solo a aparência de mais seco e friável, apresentando também um aumento do teor da umidade ótima para a massa específica aparente seca máxima a uma dada energia de compactação. Estas mudanças imediatas são algumas vezes atribuídas aos efeitos de floculação que resulta da reação de troca de cátion, Davidson (1960).

Reação de Carbonatação

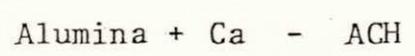
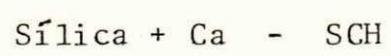
A reação de carbonatação da cal promovida pelo anidrido carbônico do ar, é outro tipo de reação que ocorre nas misturas solo-cal, resultando daí a formação de carbonato de cálcio. O produto obtido, além de não ser considerado um forte agente cimentício quando comparado com os silicatos e aluminatos hidratados, tem sua formação dificultada em face da baixa porosidade apresentada por grande parte de solos, o que dificulta a penetração do anidrido carbônico, substância indispensável, no processo de carbonatação.

Reação Pozzolânica

No processo de reação secundárias, o ganho de resistência do solo aumenta principalmente devido as reações químicas entre a cal e os minerais argilosos. São ainda bastante discutidas as características, natureza e mecanismo de formação desses gel, entretanto, diversos autores concordam em afirmar que os produtos resultantes destas reações são basicamente silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, similares, em natureza aos componentes cimentícios encontrados no cimento hidratado portland. Neste sistema, as hidroxilas dissociadas contribuem para elevar o pH do solo, o que resulta em uma maior facilidade para a reação do cátion de cálcio, com a sílica e a alumina, em face da dissociação destes, no meio alcalino formado.

Esquemáticamente o processo de formação dos gels cimentícios é o seguinte: (Ormsby, 1973).

Na presença d'água - $Ca(OH)_2 - Ca^{2+} + 2(OH)^-$. O ion oxidrila $(OH)^-$ oferece ao sistema maior pH, resultando assim as reações da sílica e alumina com o cálcio liberado pelo hidróxido de cálcio.



A esta reação que todos os estudiosos tem atribuídos o aumento de resistência a longo prazo das misturas solo-cal.

2.5 - INFLUÊNCIA DA CAL NAS PROPRIEDADES DE ENGENHARIA DE SOLOS

A adição da cal aos solos lateríticos, em especial aos solos argilosos, provoca variações em muitas de suas propriedades de engenharia. Destas propriedades as que mais interessam ao engenheiro rodoviário, e que por isto tem sido mais intensamen-

te estudadas, são: plasticidade, granulometria, variações volumétricas por absorção de água, características de compactação, resistência e durabilidade.

Nesta breve revisão, contudo só são abordadas as seguintes propriedades: compactação e resistência mecânica à compressão simples. Apesar de ser antigo o conhecimento de que as reações que ocorrem, quando a cal é misturada com solos argilosos naturais, em condições satisfatórias de umidade, produzem alterações nas propriedades dos solos onde até o presente, não temos uma justificativa para o fato. Talvez a explicação é devida a falta de experimentação específicas, com todas as suas definições e detalhes estudados minuciosamente - mineralogia do solo; característica química e físico-química; estudos físicos de laboratório da mistura solo-cal; estudos petrográficos e de raios-X da mistura solo-cal; e outras - para que se tenha as causas perfeitamente relacionadas com os efeitos da adição de cal ao solo.

Em geral tem sido observado que a adição da cal aos solos lateríticos provoca um aumento na sua umidade ótima de compactação e uma diminuição na correspondente massa específica aparente seca máxima. Cabrera e O'Flaherty (1975) explica que a cal causa flocculação/agregação das partículas aumentando os vazios, os quais reduzem o peso por volume, estes vazios também servem para reterem mais água, conseqüentemente aumentando o teor de umidade ótima. Para uma mesma energia de compactação a máxima massa específica aparente seca da mistura solo-cal é menor do que o solo sem cal, enquanto o correspondente teor de umidade ótima da mistura solo-cal é maior do que o solo sem cal. Alguns pesquisadores como Lu e Davidson, Henin e Mitchell (1960 e

1961) tem demonstrado que a magnitude de tais variáveis é dependente de fatores tais como: tipo da cal e tipo de solo. Apesar de que em geral, a máxima massa específica aparente seca dos solos, susceptíveis de serem estabilizados com cal, é reduzido com a adição da cal, o resultado é um aumento na resistência destes. Diversos testes tem sido feitos para avaliarem as resistências das misturas solo-cal: compressão inconfineda, Índice de Suporte Califórnia, estabilometro, extrusão, triaxial e mesmo agulha de penetração Proctor. O mais usado é o de compressão inconfineda, porém todos mostram a mesma tendência apesar de com grandezas não proporcionais, isto é, quando um teste de resistência mostra uma certa percentagem de mudança, outro teste, para a mesma mistura solo-cal, pode apontar mudanças no mesmo sentido, mas com percentagem maior ou menor. De outro lado, os principais fatores que afetam as resistências das misturas solo-cal, com importância são: o teor da cal, o tipo de solo, a densidade, o tempo de cura e a qualidade da cal.

Trabalhos realizados em laboratório por pesquisadores, utilizando os ensaios acima citados tem demonstrado que há substancial incremento na resistência de solos lateríticos estabilizados com cal. De acordo com as especificações do Departamento de Estradas e Rodagem do Texas, recomenda-se que para a camada de base, a resistência à compressão simples aos 7 dias deva ser 700 KPa no mínimo sem imersão, e para sub-base 350 KPa.

2.6 - COMPORTAMENTO DE SOLOS LATERÍTICOS ESTABILIZADOS COM CAL

A estabilização de solos lateríticos pela cal tem sido levadas a efeito principalmente nos países africanos. Aliais Townsend, Manke e Parcher (1971), afirmaram que a cal é um efeti

vo agente estabilizante para solos lateríticos.

Em muitas pesquisas realizadas com solos lateríticos, o índice de plasticidade teve comportamento semelhante ao da maioria dos solos argilosos estabilizados com cal, é que, neste caso, entretanto tenha havido a esperada diminuição ocorrida com o limite de liquidez, uma vez que o limite de plasticidade, pouco se alterou e, pelo contrário, mostrou uma certa tendência a diminuir. Enquanto Castro (1974), encontrou que para solos com índice de plasticidade relativamente baixo a cal não exercia grande influência sobre este parâmetro.

Em geral, tem sido verificado que o comportamento da reação peso específico aparente seco versus umidade de compactação tem comportamento semelhante ao da maioria dos solos quando em mistura com cal. Além disso a influência da cal sobre a ^{RCS} RSC dos solos lateríticos persiste como ponto de controvérsia entre os pesquisadores do assunto. Aliás de um modo geral, não existe ainda um completo acordo entre os pesquisadores sobre as variações causadas pela cal no sistema solo laterítico-cal.

Por exemplo, Harty e Thompson (1973) indicam que quanto menor for a relação sílica/sesquióxidos dos "oxisolos" (solos submetidos a avançados processos de laterização), tanto maior será o ganho de resistência destes solos a 28 dias de cura e 22,8°C (73° F) de temperatura, quando tratados com o ótimo teor de cal para a máxima resistência. O que entra em choque com o que afirmou Manke e Parcher (1971) segundo os quais "a presença dos sesquióxidos cobrindo a superfície da argila (presente nos solos lateríticos)" inibe as reações entre o cálcio e a argila (sílica).

Os desacordos ora existente, certamente devem-se ao fa

to de que o mecanismo da estabilização dos solos lateríticos pela cal até agora não foi suficientemente estudado e por isso não está ainda claramente entendido. Como foi visto, não foi até agora completamente esclarecidos quais são os efeitos dos óxidos de ferro e de alumínio sobre as reações que ocorrem no sistema solo laterítico-cal.

2.7 - ESTUDO DOS TRABALHOS REALIZADOS SOBRE REATIVIDADE A CAL DOS SOLOS PESQUISADOS

Nesta revisão procuraremos abordar os trabalhos já existentes sobre os solos pesquisados. Estudiosos como Ferro (1976), Queiroz de Carvalho (1979), Cabrera e Nwakanma (1979), Aflitos (1981) e Lima (1983) realizaram trabalhos com referência a reatividade à cal, parâmetros de resistência, índice de atividade pozolânica, CBR, triaxial e outros, chegando, a conclusão em certos casos divergentes.

Ferro (1976) estudou o comportamento do solo de Nova Floresta com referência as propriedades de plasticidade e resistência a CBR para teores de 2% e 5% de cal, sendo as amostras ensaiadas após 7 dias de cura e 4 de imersão. Os resultados obtidos por Ferro (1976) em termos de aumento de resistência apontou o solo de Nova Floresta como aquele que obteve maiores e efetivos ganhos de resistência. Em suas conclusões Ferro (1976), afirma que o solo de Nova Floresta poderia ser utilizado sem restrições como materiais de base para qualquer tipo de rodovia.

Queiroz de Carvalho (1979) fez um amplo estudo relativo às propriedades de engenharia, características de plasticidade, microestrutura do solo, parâmetro de reatividade de Thompson e outros parâmetros, de dezenove solos lateríticos do Nordeste ,

fazendo parte desse estudo os três solos por nós estudados. Os resultados obtidos por Queiroz de Carvalho (1979) revelam que não existe correlação entre a reatividade à cal e propriedades de compactação (massa específico e teor de umidade). Mostrando também que não há relação entre a reatividade à cal, com propriedades físicas do solo tais como peso específico, umidade higroscópica, limite de Atterberg, atividade coloidal, pH e fração tamanho argila.

Por outro lado cita uma correlação bastante significativa entre a reatividade à cal e a diferença de capacidade de troca de cátions (DCTC). Esta diferença é definida como diferença entre a capacidade de troca de cátion medida em pH 10 e a capacidade de troca de cátion medida em pH 7 (CTC pH 10 - CTC pH 7). Queiroz de Carvalho (1979) ainda neste trabalho apresenta uma tabela de classificação dos solos baseado no parâmetro de reatividade à cal de Thompson. Este parâmetro é obtido através da diferença entre a resistência à compressão simples (RCS) do solo tratado com cal e a resistência à compressão simples (RCS) do solo no seu estado natural.

Após a estabilização do solo com 1,5%, 3,0%, 4,5% e 6,0% de cal e curado por 28 dias, Queiroz de Carvalho (1979) apresenta os seguintes resultados: o solo de Nova Floresta e Teixeira é neste quadro classificado como um solo de baixa reatividade com índice LR cu RT = 490 KPa e 470 KPa respectivamente e João Pessoa apresenta-se como um solo de alta reatividade com LR = 5.590 KPa.

Cabrera e Nwakanma (1979) baseado no modelo teórico da difusão do sistema solo-cal propuseram um método para determinar a atividade pozolânica. Os solos estudados por Cabrera e

Nwakanma (1979) foram os mesmos utilizados por Queiroz de Carvalho (1979) e novamente temos enquadrados os nossos três solos em estudo. Baseado neste sistema, os autores obtiveram uma constante da reação a qual multiplicada pela percentagem da fração tamanho argila elevada a uma potência "x", foi por eles denominada de índice de atividade pozolânica. Este índice de atividade pozolânica foi relacionado pelos autores com o parâmetro de reatividade de Thompson através de um modelo teórico e correlação linear simples.

Os valores de atividade pozolânica variam de $0,12 \times 10^{-4}$ / dia a $4,08 \times 10^{-4}$ / dia sendo proposto um valor mínimo de $A_i = 0,75 \times 10^{-4}$ / dia como limite entre os solos pozolânicos e não pozolânico. Os solos por nós estudados apresentaram dentro desta faixa os seguintes valores: solo de Nova Floresta apresentou um índice de atividade pozolânica igual a $0,472 \times 10^{-4}$ / dia, menor que o valor mínimo proposto por Cabrera e Nwakanma (1979) e portanto classificado como um solo não pozolânico. Já os solos de Teixeira e João Pessoa apresentaram valores de $3,689 \times 10^{-4}$ / dia e $4,08 \times 10^{-4}$ / dia respectivamente sendo enquadrados na faixa de solos pozolânicos.

Queiroz de Carvalho e Cabrera (1979) propõe um método simples para avaliar a reatividade à cal, através da determinação da capacidade de troca de cátions dos solos em meio neutro (pH = 7) e em meio alcalino (pH = 10). Sendo o resultado dado pela diferença da capacidade de troca catiônica (DCTC) ou seja, $DCTC = CTC_{pH=10} - CTC_{pH=7}$.

Novamente os solos de Nova Floresta, Teixeira e João Pessoa são três dos solos que fazem parte desta pesquisa. Baseados nos resultados obtidos, Queiroz de Carvalho e Cabrera (1979)

propõem a seguinte classificação:

$DCTC \leq 1,0$ meq/100 g - Solos não reativos

$1,0 \leq DCTC < 1,5$ meq/100 g - Solos reativos próprios para sub-bases e sub-leitos.

$DCTC \geq 1,5$ meq/100 g - Solos altamente reativos próprios para bases.

Baseado nesta classificação o solo de Nova Floresta apresenta uma capacidade de troca catiônica igual a 1,08 meq/100 g, sendo enquadrado como um solo reativo próprio para sub-bases e sub-leitos.

Lima (1983) afirma que sendo o valor da $DCTC = 1,08$ meq/100 g muito próximo ao limite inferior da faixa de classificação (1,0), poder-se-ia dizer que o solo de Nova Floresta, com base na classificação proposta, é um solo de baixa reatividade à cal.

Com relação aos solos de Teixeira e João Pessoa, apresentam $DCTC$ igual a 4,62 meq/100 g e 4,95 meq/100 g respectivamente e quando enquadrados na classificação proposta, temos solos altamente reativos e próprio para bases.

Aflitos (1981) estudou o comportamento de cinco solos lateríticos do Norte e Nordeste, fazendo parte desses solos, o solo de Teixeira. Nesta pesquisa Aflitos (1981) estudou o comportamento dos solos em termos de massa específica aparente seca, teor de umidade e variação na tensão de ruptura à compressão simples (RCS), após ter sido o solo tratado com cal nos percentuais de 1,0%, 4,0%, 7,0% e 10% de cal hidratada e curadas em câmara úmida por 27 dias e imerso em água por um dia. Os resultados por ele encontrado, mostraram que a tensão de ruptura (RCS) para os solos tratados com vários percentuais de cal, dos corpos de prova moldados no teor de umidade ótima do solo natural e rompidos

após 27 dias de cura úmida e um dia de imersão, a faixa de valores para a máxima tensão de ruptura (RCS) está compreendida entre 590 KPa para 10% de cal, sendo a média de ruptura (RCS) para a umidade de moldagem correspondente ao teor de umidade ótima do solo natural igual a 335 KPa. Concluindo que as tensões de ruptura à compressão não confinada (RCS) do sistema solo-cal, foi superior a do solo natural.

Lima (1983) estudou o comportamento do solo de Nova Floresta em termos de permeabilidade e cisalhamento triaxial, para teores de 2%, 4%, 6% e 8% de cal, sendo as amostras submetidas a um período de cura de 7, 14 e 28 dias. Após a compactação e a cura, as amostras eram então saturadas, para em seguida serem submetidas aos ensaios de permeabilidade e cisalhamento triaxial.

Lima (1983) mostrou que em termos de permeabilidade, a cal adicionada ao solo de Nova Floresta, nas diferentes concentrações e para os diferentes tempos de cura, atua produzindo o fenômeno de floculação e agregação das partículas, transformando o solo em um material mais granular o que favorece a percolação. Com relação ao ensaio de resistência ao cisalhamento triaxial do tipo consolidado, não drenado, com medidas de pressão neutra, os resultados obtidos após uma análise completa em termos ou não de resistência para as diferentes concentrações de cal, diferentes tempos de cura e de percolação, induziu a concluir para as condições de ensaio utilizados, que o solo de Nova Floresta, parece ser um solo não reativo à cal.

Como síntese do que foi apresentado pelos pesquisadores, com relação ao nosso solo em estudo temos:

Ferro (1976) - método de CBR

concluindo que o solo de Nova Floresta é de boa reatividade e próprio para bases.

Queiroz de Carvalho (1979) - Método da RCS (parâmetro de Thompson)

concluindo que os solos de Nova Floresta e Teixeira apresentam baixa reatividade e o solo de João Pessoa alta reatividade.

Cabrera e Nwakanma (1979) - Método índice de atividade pozolânica.

concluindo que o solo de Nova Floresta não é pozolânico e os solos de Teixeira e João Pessoa são pozolânicos.

Queiroz de Carvalho e Cabrera (1979) - Método DCTC.

concluindo que o solo de Nova Floresta é reativo e próprio para sub-bases e sub-leitos e os solos de Teixeira e João Pessoa são altamente reativos e próprios para bases.

Aflitos (1981) - Método da RCS Resistência à compressão simples.

concluindo que com o incremento de cal ocorreu uma gradual elevação nos resultados obtidos da resistência à compressão simples, não sendo definido um máximo, mas dando uma idéia de boa reatividade para o solo de Teixeira.

Lima (1983) - Método Resistência à Compressão Triaxial.

concluindo que o solo de Nova Floresta é de baixa reatividade.

Nesta breve revisão, podemos observar a dificuldade de classificação para o solo de Nova Floresta quanto a avaliação a reatividade à cal.

Os métodos de resistência mecânica parecem ser os menos confiáveis (CBR, RCS e triaxial). O método de CBR é bastante deficiente, devido, ser um processo empírico de avaliação, realizado com o material totalmente confinado. Condição esta irreal, comparada à situação real que o solo se encontra

em seu estado natural no campo, fornecendo assim resultados du
vidosos. O método de RCS além de ser bastante trabalhoso para
ser determinado, não é de boa confiabilidade, pois são obtidos
através de ensaios a compressão simples, realizados para amostras
totalmente livres de confinamento, situação irreal compara-
da ao estado natural em que o solo se encontra na natureza. O
método de resistência a compressão triaxial é o mais eficiente,
comparado com o CBR e a RCS, embora seja mais trabalhoso e de
morado. Sendo um método mais representativo para a situação re
al que o solo se encontra no campo, Lima (1983). Enquanto os
demais métodos DCTC, e índice de atividade pozolânica parecem
ser os mais indicativos. O método da DCTC é um método simples e
de fácil determinação. Sendo que o método do índice de ativida-
de pozolânica é um método bastante confiável, devido ter sido
realizado levando em consideração a microestrutura do solo com
bases nos seus componentes amorfos. Apesar de ser o melhor méto-
do entre todos apresentados, existe uma grande desvantagem pois
o mesmo requer equipamentos sofisticados, necessário para obten-
ção do elemento (Ca), fator envolvido na determinação do índice
de atividade (Ai), e estes equipamentos não são comuns em labo-
ratório de solos.

Devido a isto é que a determinação da reatividade à cal-
dos solos lateríticos é, na maioria dos casos, realizados pelos
métodos de resistência mecânica. Mostrando talvez com isto um
quadro de resultados em certos casos polêmicos, principalmente
com o solo de Nova Frelستا. Com isto a conclusão que podemos
chegar é que ainda não temos um estudo de forma completa das
reações solo-cal bem conhecidas, necessário se faz empreenderem
se pesquisas de laboratório e campo de forma a proporcionar re

sultados mais próximos para tratamento de solos com cal.

CAPÍTULO III

OBJETIVO DA PESQUISA

Apesar dos solos lateríticos frequentemente não atenderem as especificações padrões dentro da pavimentação rodoviária, tem sido largamente empregados, devido a sua adequada utilização com aditivos.

As informações referentes a adição e efeitos da cal aos solos lateríticos constituem um assunto ainda não totalmente esclarecido, existindo muitas contradições com referência as propriedades do solo-cal. Por este motivo esta pesquisa tem o objetivo de verificar o efeito da estabilização com cals calcínicas (sendo que uma delas foi previamente envelhecida), sobre as propriedades de resistência à compressão simples de três solos lateríticos do Estado da Paraíba.

Também será estudada a sensibilidade dos solos considerados, juntamente com as duas cals, a pequenas variações na umidade de moldagem dos corpos de prova que podem resultar em variações diversas na resistência à compressão simples.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS

4.0 - INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve os materiais utilizados na pesquisa: solos, seu meio ambiente, as características das regiões de onde os mesmos são originários, as cais e a água.

4.1 - SOLOS

Para o presente trabalho foram selecionados três solos lateríticos do Estado da Paraíba. As amostras foram coletadas de taludes verticais (horizonte B), cujos perfis geológicos são mostrados nas Figs. 4.1, 4.2 e 4.3, antes da coleta foi inicialmente feita uma limpeza do perfil, retirando o material superficial e já trabalhado pelo intemperismo, evitando contaminação das amostras.

Os solos foram identificados por abreviaturas com quatro letras maiúsculas, as duas primeiras dizem respeito do local (cidade) onde foram retiradas, e as duas últimas do Estado.

TEPB - Solo da jazida de Teixeira do Estado da Paraíba.

NFPB - Solo da jazida de Nova Floresta do Estado da Paraíba.

JPPB - Solo da jazida de João Pessoa do Estado da Paraíba.

4.2 - GEOLOGIA DA ÁREA

DADOS GERAIS

4.2.1 - Hidrografia e Relêvo

A rede hidrográfica da Paraíba é composta por quatro

principais bacias: Bacia do Parnaíba, Bacia do Rio Piranha, Bacia do Curimataú e Bacia do Mamanguape. Os rios são de regime temporários, permitindo na estação seca a utilização agrícola de seus leitos.

O relevo do Estado da Paraíba apresenta-se em geral bem diferenciado, sendo destacado as seguintes unidades morfológicas principais:

- 1 - Baixada litorânea
- 2 - Baixos Platôs Costeiros (tabuleiros)
- 3 - Depressão Sublitorânea
- 4 - Planalto da Borborema
- 5 - Depressão Sertaneja: superfície de pediplanação com pequenos inselbergues, bacia sedimentar cretácea.
- 6 - Outras áreas cristalinas (inclui maciços residuais e inselbergues).

4.2.2 - Geologia e Material Originário

O Pré-Cambriano ocupa a maior parte do Estado da Paraíba, predominando de maneira mais acentuada sobre os terrenos sedimentares.

A geologia da Paraíba pode ser esquematizada da seguinte maneira:

- 1 - Holoceno: restingas e dunas, aluviões e mangues
- 2 - Terciário: grupo barreiras (incluindo a Formação Bananeiras e série Serra dos Martins).
- 3 - Cretáceo: Formação Itamaracá, Formação Gramame e série Rio do Peixe.
- 4 - Pré-Cambriano.

4.2.3 - Clima

Segundo Koppen o clima do Estado da Paraíba são os seguintes: As', Bsh e Aw', sendo:

As' - quente e úmido com chuvas de outono-inverno. Ocorre no litoral até atingir o planalto da Borborema. A variação de temperatura é muito pequena durante o ano e as médias anuais estão compreendidas entre 22° e 26°C.

A umidade relativa é bastante uniforme em toda a região apresentando uma média de 80%.

Bsh - semi-árido quente. Este tipo climático ocorre em toda superfície do Planalto da Borborema desde a zona do Brejo até o Sertão. As médias de temperatura nunca são inferiores a 24°C.

Aw' - quente e úmido com chuvas de verão - outono. Este clima ocorre na parte Oeste do Estado.

4.3 - JAZIDA DE TEIXEIRA (TEPB)

4.3.1 - Localização

A jazida de Teixeira localiza-se a margem esquerda da rodovia Pb - 306, sentido Teixeira - Princesa Isabel, a 8 km da cidade de Teixeira.

4.3.2 - Formação Geológica

A jazida está inserida na Formação Serra dos Martins. A litologia desta Formação indica que provavelmente foi dela que se originou a Formação Barreiras, pela disposição fluvial Beurlin (1964). A Formação Serra dos Martins é datada do terciário

ria e repousa sobre terreno do Pré-cambriano, Minter (1972). Esta Formação consiste de sedimentos argilosos, areníticos ferruginosos fortemente cimentados por limonita, além de canga laterítica repousando sobre terreno do Pré-cambriano.

4.3.3 - Pedolôgia

A solo da região de Teixeira é classificado como REC₃ (Regossol Eutrófico e Solos Leitólicos Eutróficos), com textura arenosa.

4.3.4 - Clima

Segundo a classificação de Gaussen, a região de Teixeira pode ser considerada xeroquimênica, sub-grupo termoxeriquimênica de caráter acentuado (4ath), denominada no Brasil como região tropical quente de seca acentuada.

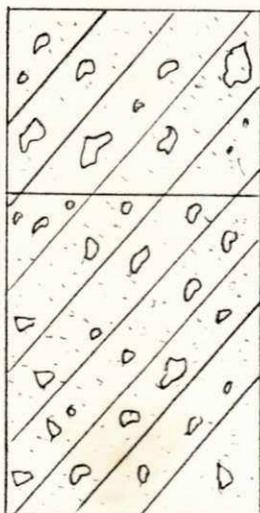
4.3.5 - Índice Xerotérmico

Variando de 100 a 150

4.3.6 - Precipitação

Faixa anual - 500 a 700 mm.

4.3.7 - Perfil Geológico



Material areno argiloso com cascalho laterítico. Espessura entre 0,20 - 0,30 cm.

Solo areno argiloso, de cor variegada (vermelho, amarelo e branco), com grande quantidade de concreções miúdas. Espessura observada no corte, média 2,70 m.

Fig. 4.1 - Jazida de Teixeira/TEPB

4.4 - JAZIDA DE NOVA FLORESTA (NFPB)

4.4.1 - A jazida de N6va Floresta est1 situada 1 margem esquerda da rodovia Pb - 151, trecho Cuit1 - Nova Floresta, dis- tando 5 km da cidade de Cuit1.

4.4.2 - Forma11o Geol6gica

Se encontra inserida na zona fisiogr1fica da Borborema Oriental. A 1rea que envolve a jazida pesquisada, apresenta uma geol6gia correspondente ao per1odo terci1rio com o topo revesti- do por capeamento sedimentado, relacionado com a Serra dos Mar- tins. Esta forma11o assenta sobre uma superf1cie do cristalino bastante aplainado e intensamente caulinizado.

Dando sequ1ncia, ocorrem capas de caulim, com espessu- ras que alcan1am at1 mais de 5 m, resultante do intemperismo qu1- mico do cristalino da base para cima a capa caulinizada passa gradativamente a Forma11o Sedimentar que 1 constitu1da por um arenito caulin1tico em geral n1o consolidado.

4.4.3 - Pedologia

O solo da regi1o de Nova Floresta 1 classificado como Lvel (Latosolo vermelho amarelo eutr6fico) com textura argilo- sa.

4.4.4 - Clima

Segundo a classifica11o de Gaussen, a regi1o de Nova Floresta pode ser considerada como xerot1rmico (3 bth).

Mediterr1neo ou Nordestino quente de seca acentuada .
Estaa1o seca: 3 a 4 meses.

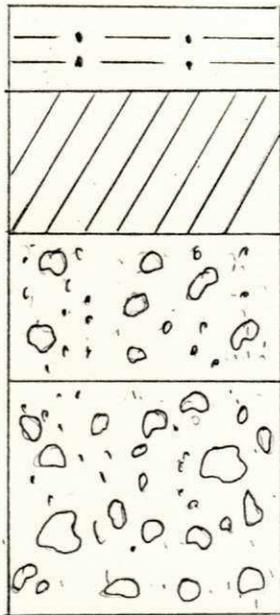
4.4.5 - 1ndice Xerot1rmico

Variando de 40 a 100.

4.4.6 - Precipitação

Faixa anual - 1800 a 2000 mm

4.4.7 - Perfil Geológico



Humus com profundidade máxima de 20 cm. Material de cor vermelho-marron fortemente cimentado. Profundidade entre 10 a 30 cm.

Material concrecionário vermelho-marron com alta proporção de fino. Profundidade de 30 a 60 cm.

Pedregulho concrecionário com diâmetro entre 20 e 30 cm. Profundidade desconhecida, cerca de 60 cm descoberto.

Fig. 4.2 - Jazida de Nova Floresta/NFPB

4.5 - JAZIDA DE JOÃO PESSOA (JPPB)

4.5.1 - Localização

A jazida de João Pessoa localiza-se no conjunto dos bancários, à 2 km dos Campus Universitários de João Pessoa.

4.5.2 - Formação Geológica

A jazida se encontra inserida na Formação Barreiras. A sua datação não é precisa pela ausência de fósseis, porém, admite-se ser do terciário, pois na sua parte inferior encontra-se o calcáreo fossilífero Pirabas, que é do mioceno inferior DNPM 1973, 1974 e 1975.

É constituído por sedimentos clásticos mal seleciona-

dos, variando de siltico a conglomerado.

As cores predominantes são o amarelo e o vermelho, porém variando de local para local.

Os arenitos são em geral, cauliniticos com lentes de folhelho.

4.5.3 - Pedologia

O solo da região de João Pessoa é classificado como PV5 (Podzólico vermelho amarelo latossólico) de textura arenosa.

4.5.4 - Clima

Segundo a classificação de Gausson, a região de João Pessoa pode ser considerada como Mediterrâneo ou Nordeste quente de seca acentuada. Estação seca variando de 3 a 4 meses (3 cth).

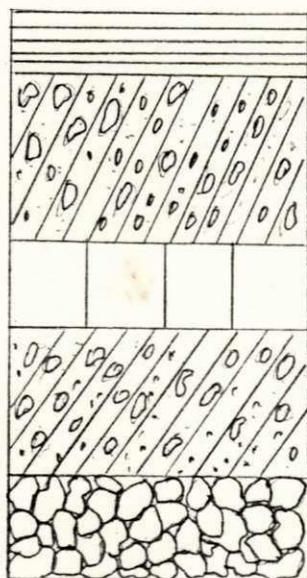
4.5.5 - Índice Xerotérmico

Variando de 40 a 100

4.5.6 - Precipitação

Faixa anual - 1800 a 2000 mm.

4.5.7 - Perfil Geológico



^uHumos com espessura máxima de 50 cm

Material laterítico com concreções de diâmetro variando (2 a 4 cm).

Espessura 7 m.

Zona pálida. Material com diâmetro máximo de 2 pol. Espessura 4 m.

Material laterítico com pequenas concreções. Espessura 5 m.

Rocha.

Fig. 4.3 - Jazida de João Pessoa JPPB.

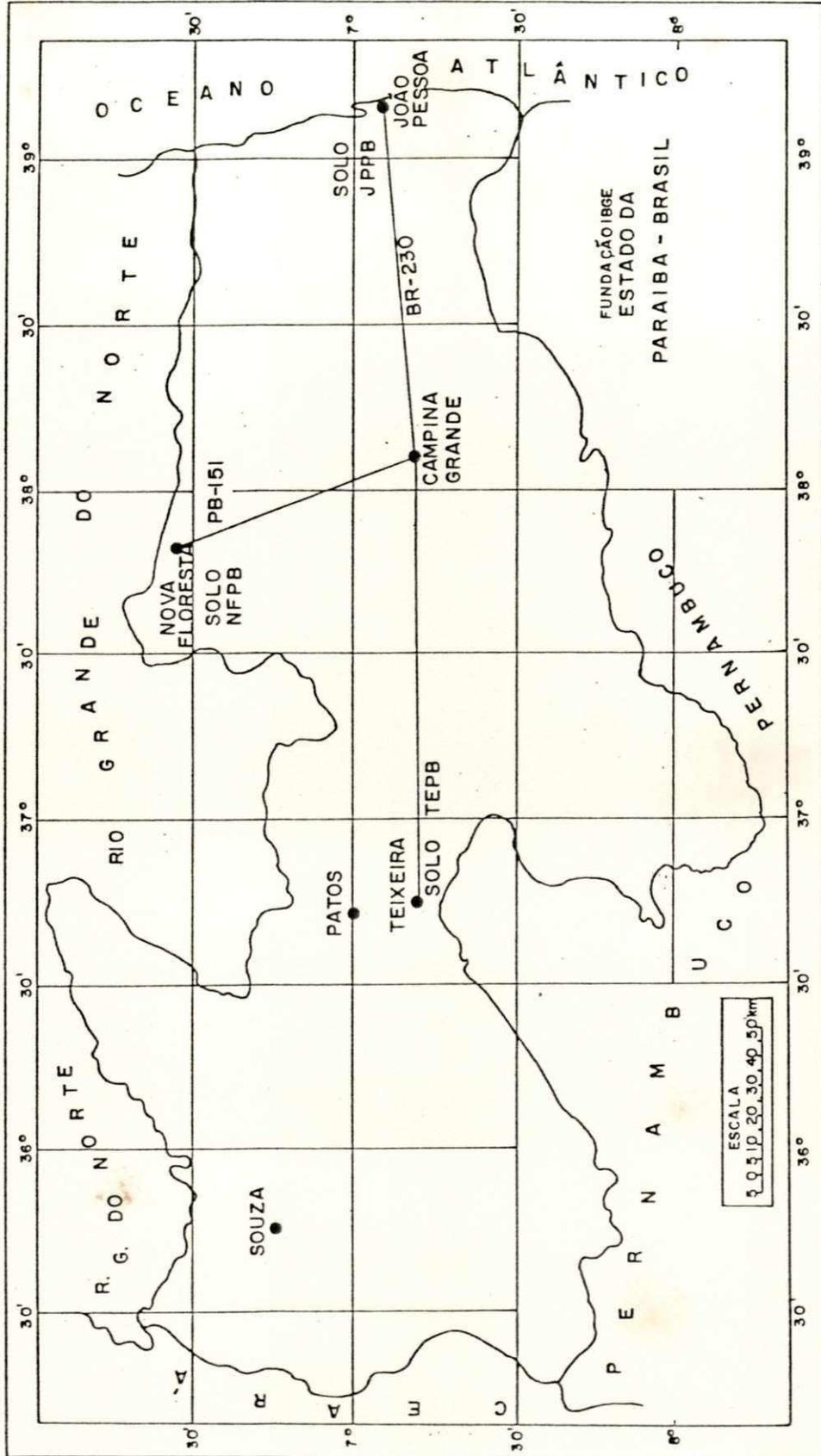


FIGURA 4.1 - MAPA DO ESTADO DA PARAÍBA MOSTRANDO A LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS

4.6 - CAL

Foram utilizadas duas cais hidratadas calcínicas, conhecidas comercialmente como cal Socal e Sigra, fabricadas pelo processo de via seca, a partir de rochas calcáreas.

As cais chegaram ao laboratório em sacos de papel Kraff. Onde a cal Sigra foi colocada em saco plástico e hermeticamente fechada, a fim de não alterar as propriedades da mesma, e a cal Socal foi aberta, ficando em contato maior com o CO₂ do ar e com isto tornando-se envelhecida.

Nesta pesquisa ambas as cais passam a ser denominadas pelas seguintes siglas:

cal Sigra - sigla N (nova)

cal Socal - sigla V (velha)

4.7 - ÁGUA

A água utilizada foi destilada, a fim de evitar a presença de substâncias que pudessem interferir nas propriedades dos solos pesquisados.

SOLO	TEPB	NFPB	JPPB
PROCEDÊNCIA	TEIXEIRA	NOVA FLORESTA	JOÃO PESSOA
Propriedade Quími ca:			
pH	4,35	5,10	4,40
Teor de Matéria Or gânica (%)	1,41	0,67	0,90
CTC	(pH=10) 17,98 (pH=7) 13,84	(pH=10) 8,39 (pH=7) 7,31	(pH=10) 10,09 (pH=7) 6,89
Amorfos:			
SiO ₂ (%)	9,58	28,0	11,6
Al ₂ O ₃ (%)	3,20	27,0	7,15
Fe ₂ O ₃ (%)	4,20	7,0	1,10
Composição Minera logica (Argilo Mi neral Predominan te).	Caolinita Quartzo Geotita Hematita Anatásio	Caolinita Quartzo Geotita	Caolinita Quartzo Hematita Geotita Anatásio
Classificação HBR	A - 2 - 6	A - 2 - 4	A - 2 - 6

Fonte - Ferro (1976) e Borba (1981).

TABELA 4.1 - Propriedades e Classificação dos Solos Pesquisados.

CAPÍTULO V

MÉTODOS

5.1 - INTRODUÇÃO

O processo de preparação dos três solos no laboratório e os ensaios executados são mostrados esquematicamente no fluxograma da Figura 5.1 .

As experiências desenvolvidas durante a pesquisa, são apresentadas a seguir, na ordem de suas realizações.

a - Ensaios de Caracterização

b - Ensaios Tecnológicos

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

5.1.1 - Cal

Os ensaios de caracterização das cals utilizadas, foram executados pelo método da ABNT - MB1 - 1937. E as análises químicas foram realizadas no laboratório de Análise Química do CCT .

5.1.2 - Granulometria

O ensaio de granulometria para os solos obedecem as exigências do DNER.

Seguiu-se o método MT - DNER ME-80-64.

As curvas de distribuição granulométrica (peneiramento) dos materiais em estudo se encontram na Fig. 6.1 .

5.1.3 - Limites de Atterberg

Limite de Liquidez

Este parâmetro foi determinado seguindo as recomenda -

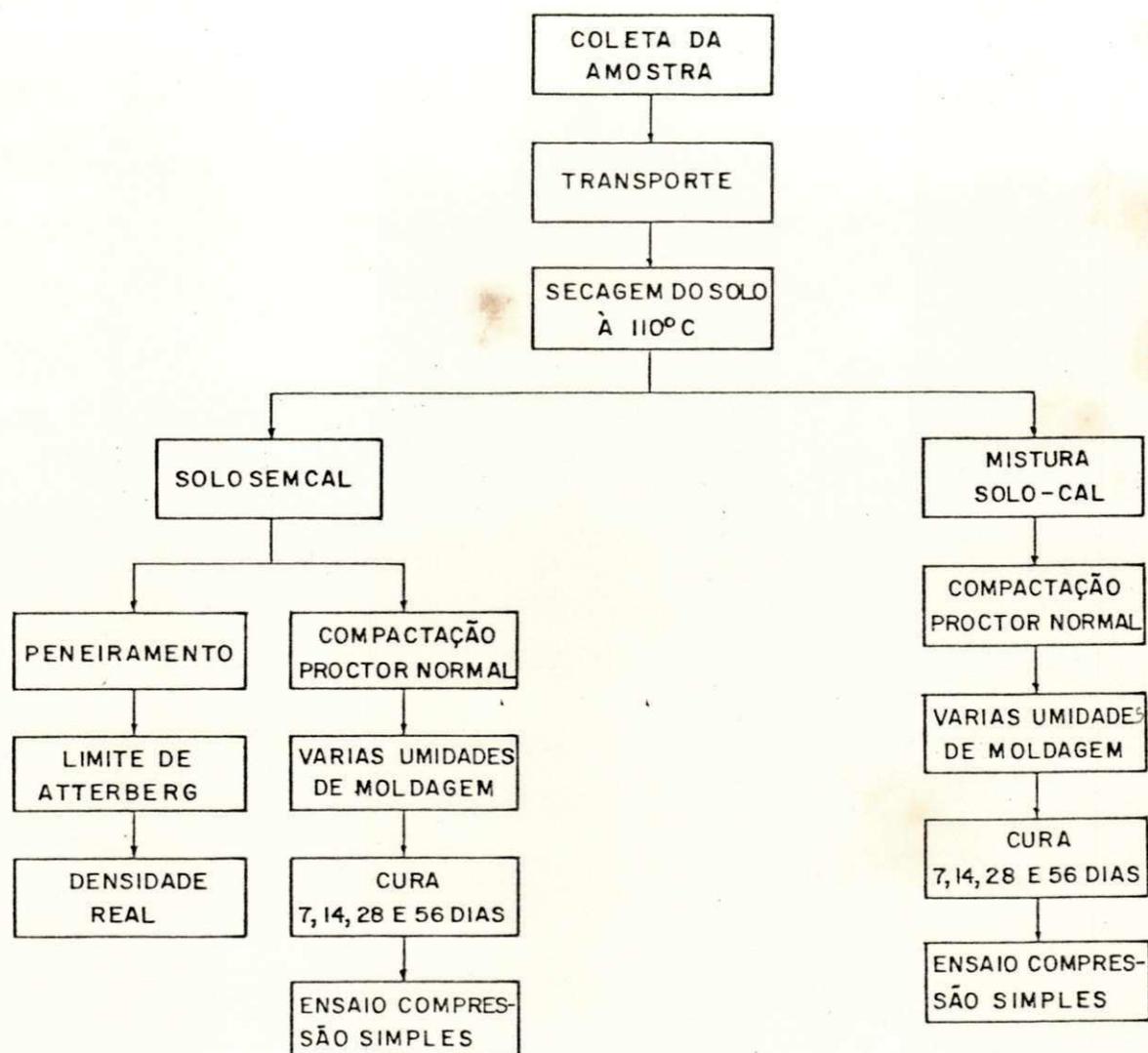


Figura 5.1 - Fluxograma dos Ensaio Realizados.

ções do método DNER M-44 - 64.

Foram feitas determinações para os três solos estudados.

Limite de Plasticidade

Para determinação deste parâmetro foram utilizadas as recomendações do método DNER M-82 - 63 .

O limite de plasticidade foi também determinado para os três solos da pesquisa.

5.1.4 - Massa Específica Real

Procedeu-se de acordo com as recomendações do ensaio DNER M-93 - 64.

Foram feitas três determinações para cada solo, sendo aceita o resultado que se encontrava dentro das variações que o método especificava.

5.2 - ENSAIO TECNOLÓGICO

5.2.1 - Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação foi realizado conforme o método de ensaio do DNER ME-47-64 A. Neste ensaio a compactação é feita com a fração do solo que passa na peneira de 4,8 mm. A energia de compactação utilizada foi correspondente a do Proctor normal e a água foi destilada, para modificação da umidade do solo na obtenção dos diferentes pontos de curva de compactação.

Os teores de aditivo escolhidos foram 0, 6 e 9%. Para cada uma das cais estudadas foi obtido a curva de compactação , para os teores de aditivos supra citados. Sendo portanto obtidas cinco umidades ótimas: uma para 0% de aditivo, duas para

6% e duas para 9%. Após uma análise destes teores foi determinada uma faixa de variação sendo escolhidos arbitrariamente três teores de umidade para varrer toda a faixa envolvida. Com estes três teores de umidades foram moldados todos os corpos de prova com e sem aditivo. O processo de mistura do solo com água ou solo-cal e água, conforme o caso, foi feito utilizando em misturador elétrico de eixo vertical, existente no laboratório. Este processo de homogenização obedece as seguintes etapas:

- colocação do solo ou solo-cal, conforme o caso na bacia do misturador;
- homogenização do material na bacia por um minuto;
- colocação da quantidade de água desejada, necessária para modificar a umidade e continuação da mistura por mais um minuto;
- parada do misturador e retirada do material aderido as paredes e pás e religação por mais um minuto;
- material pronto para ser compactado ou moldado conforme o caso.

Os moldes dos corpos de prova utilizados no presente trabalho, apresentavam em média uma altura total de 17,70 cm por 10,2 cm de diâmetro.

Após obtermos a mistura convenientemente dosada e umedecida, tomava-se a quantidade necessária em peso para um espécimen. O material era então lançado no molde e compactado em três camadas iguais. Após ser compactado era rasado e retirado do molde, através de um extrator.

Para cada percentual e teor de umidade era moldado três corpos de prova, os quais eram colocados em sacos plásticos, completamente impermeáveis, etiquetados, pesados e levados para

curar.

5.2.2 - Ensaio de Compressão Simples

Como mostra o fluxograma da Fig. I os ensaios de compressão simples foram executados tanto para o solo como para o solo mistura com cal, após vários dias de cura. Os teores de cal utilizados foram 0, 3, 6 e 9%. Os corpos de prova foram curados em câmara úmida, por períodos estabelecidos de 7, 14, 28 e 56 dias.

A câmara úmida foi preparada com areia saturada a uma temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Após o período estabelecido de cura os corpos de prova em média de três para cada percentual era levado para uma prensa de compressão da marca Vanetest, provido de anel dinamométrico e elétrica. A velocidade de rompimento permaneceu constante (1,27 mm/min) durante todo o trabalho.

TABELAS E FIGURAS
DO CAPÍTULO V

SOLO	hot (1) (%)	γ_s (kg/m ³)	Teores da Cal (%)	N	V	hot (2) (%)
TEPB	20,0	1652	0			
	24,0	1650	6	X		20,0
	24,5	1647	9	X		21,5
	21,1	1605	6		X	23,0
	23,8	1600	9		X	
NFPB	17,6	1745	0			
	21,4	1725	6	X		17,6
	22,4	1727	9	X		19,0
	20,0	1680	6		X	20,4
	20,4	1680	9		X	
JPPB	20,0	1630	0			
	23,8	1627	6	X		20,0
	24,0	1625	9	X		21,5
	21,3	1605	6		X	23,0
	23,6	1608	9		X	

Obs. hot (1) - Umidade de compactação; hot (2) umidade de moldagem.

TABELA 5.1 - Umidades e Massa Específica Aparente Se ca Obtido na Compactação para Diferentes Teores nos Três Solos e duas Cais.

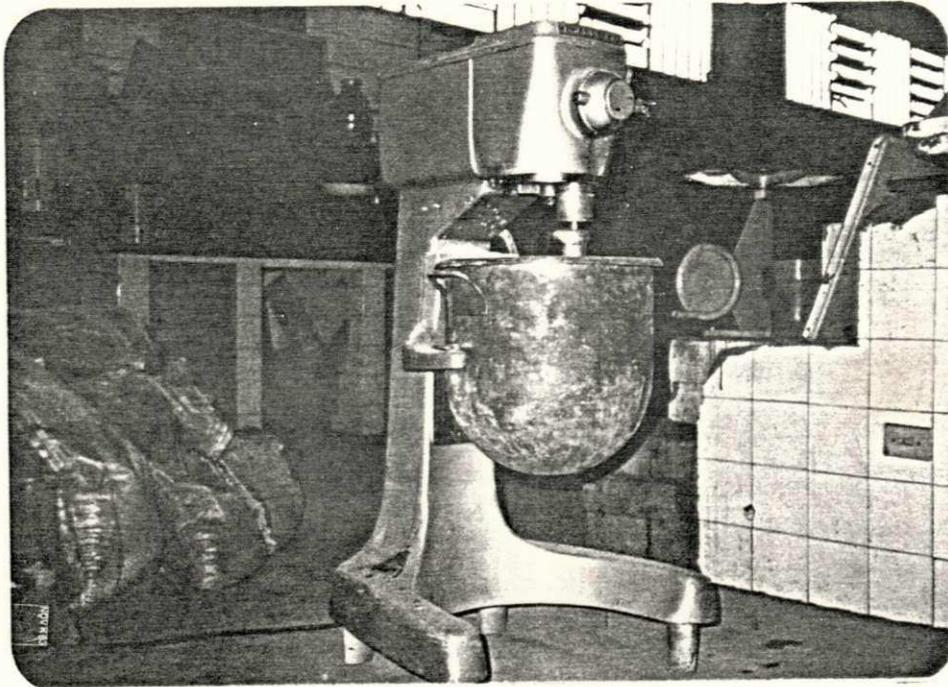


Figura 5.2 - Misturador Elétrico de Eixo Vertical
Marca Blakeflee Mixer
Modelo F-30

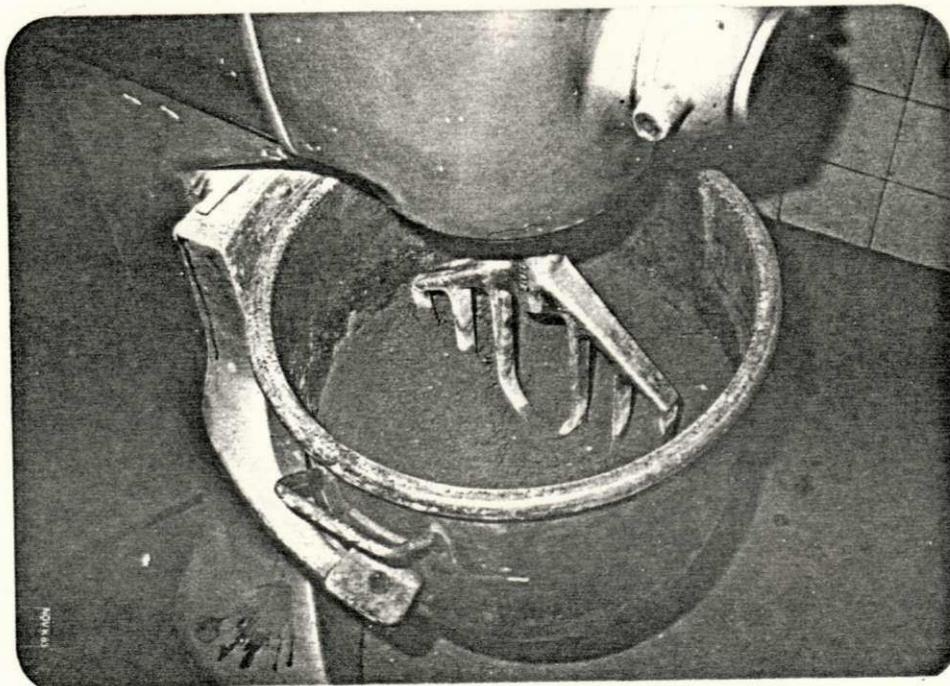


Figura 5.3 - Outra Vista do Misturador Elétrico, na Fase de Ho
mogeneização.

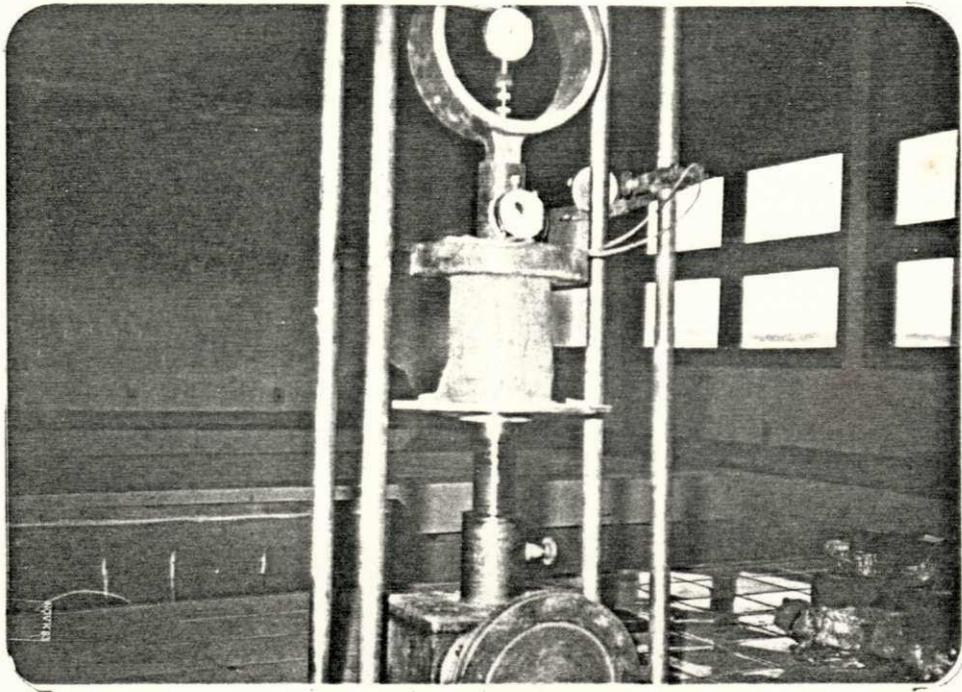


Figura 5.4 - Vista geral da Prensa Marca Vanetest, durante o Ensaio da RCS mostrando o Painel de Controle da Velocidade de Rompimento.

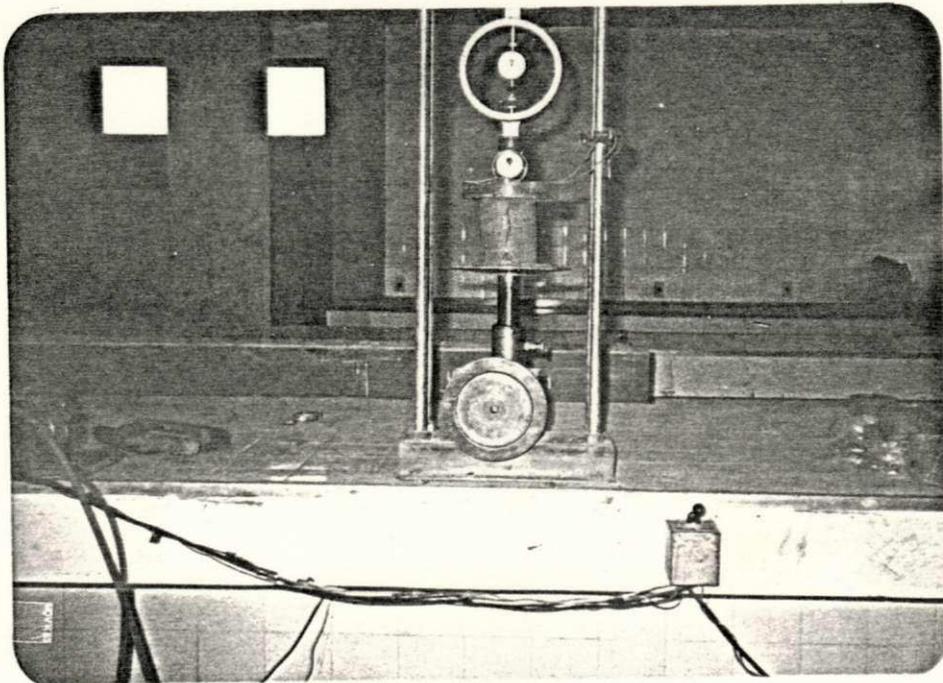


Figura 5.5 - Corpo de Prova Rompidos após o Ensaio de Compressão Simples.

CAPÍTULO VI

RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.0 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais, bem como nos ensaios tecnológicos. Fazendo também uma análise do comportamento dos solos naturais e tratados com as cais, e comparados os nossos resultados com pesquisas realizadas por outros autores.

6.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

6.1.1 - Cal

Na Tabela 6.4 temos os valores da finura das cais N e V.

Os valores obtidos comprovam que realmente trabalhamos com uma cal nova e outra velha segundo as normas da ABNT, onde para a peneira 30 o máximo valor é de 5% e na peneira 200 é de 15%. Este método é de fácil determinação e de grande utilidade em campo.

6.2.1 - Granulometria

As curvas apresentadas na Fig. 6.1 mostram a distribuição granulométrica dos três solos estudados. Do ponto de vista da fração tamanho argila, fator importante no processo de estabilização temos: para o solo de TEPB 16%, NFPB 12% e JPPB 14%.

6.1.3 - Limites de Atterberg

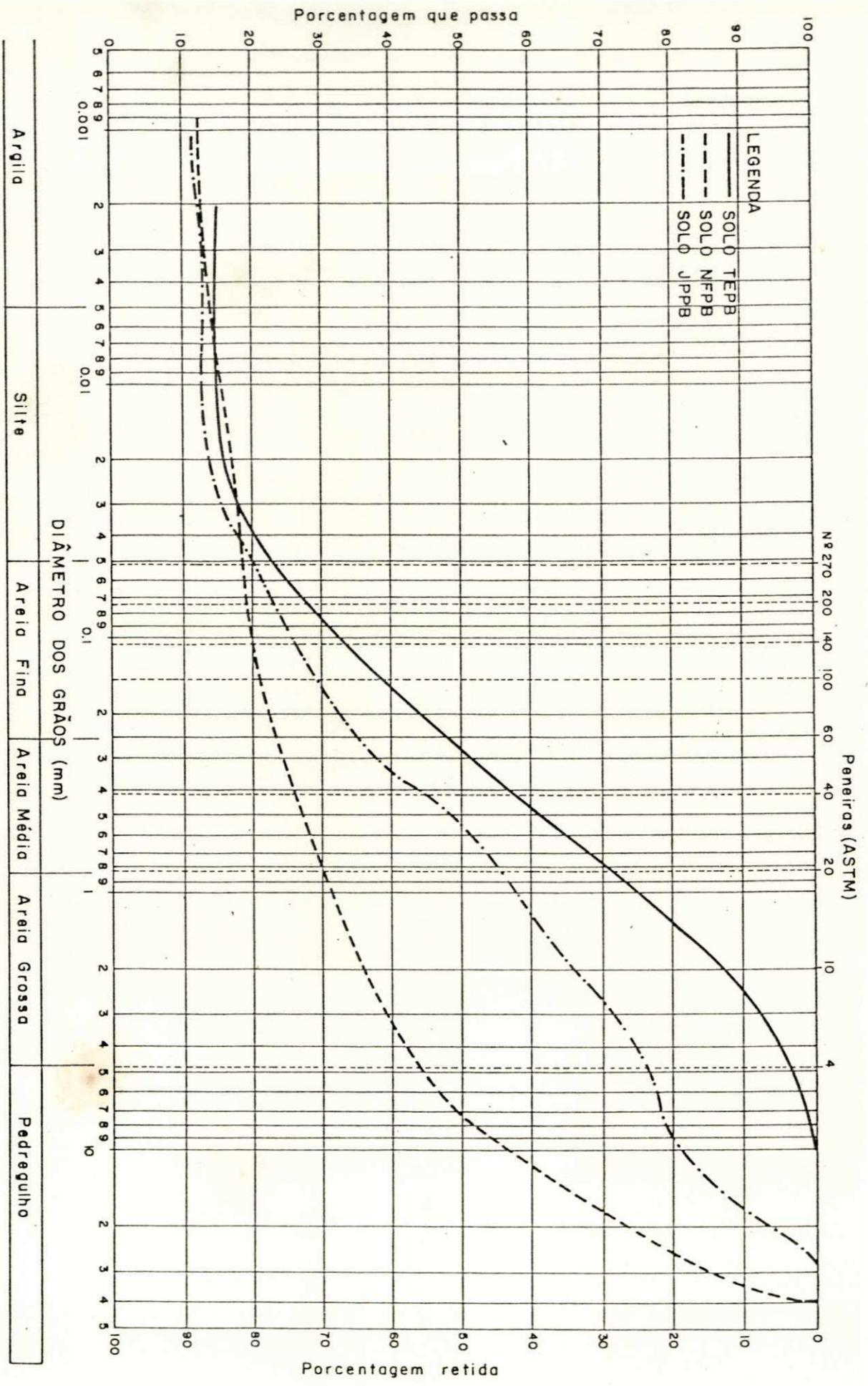


Figura 6.1 - Distribuição Granulométrica dos Solos

177

Limite de Liquidez (LL)

Conforme Terzaghi e Peck (1967), os solos em estudo se encontram na faixa de baixa (LL < 35%) a média plasticidade, (35% > LL < 50%).

Na Tabela 6.2, temos os seguintes resultados para os solos de TEPB 38,6%, NFPB 30,4% e JPPB 36,6%.

Resultados semelhantes foram encontrados por Queiroz de Carvalho (1979) e Aflitos (1981) para o solo de TEPB. Para os solos de NFPB e JPPB, Queiroz de Carvalho (1979) apresenta resultados próximos aos encontrados por nós.

Limite de Plasticidade (LP)

O LP como também o (IP) índice de plasticidade obtidos para os três solos encontram-se na Tabela 6.2.

Segundo Vargas (1977), os índices de plasticidade dos solos pesquisados estão na faixa de IP aceitáveis para solos lateríticos. São os seguintes os valores dos IP para os solos de TEPB 13,6%, NFPB 8,8% e JPPB 12,6%.

Valores próximos foram encontrados por Bezerra (1976), Queiroz de Carvalho (1979) e Aflitos (1981) para os três solos.

6.1.4 - Massa Específica Real

Os resultados da massa específica real estão contidos na Tabela 6.2 para os três solos são: TEPB $2,6317 \text{ g/cm}^3$, NFPB $2,8138 \text{ g/cm}^2$ e JPPB $2,5514 \text{ g/cm}^3$. Estes valores são compatíveis com os resultados encontrados por Lucena (1976), Ferro (1976), Marinho (1976) e Queiroz de Carvalho (1979).

6.2 - ENSAIOS TECNOLÓGICOS

6.2.1 - Ensaio de Compactação

As determinações das características de compactação dos solos naturais e após tratados com as cals, encontram-se na Table 5.1 .

As correspondentes curvas de compactação para os solos encontram-se nas Figs. 6.2; 6.2.a; 6.2.b; 6.2.c; 6.2.d e 6.2.e , onde temos as curvas de compactação para os solos naturais e com 6% e 9% das cals N e V. Ainda nestas curvas podemos observar e relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca.

Analizando as modificações ocorridas nas umidades e massa específica aparente seca para os três solos, temos a seguir.

SOLO TEPB

Nas Figs. 6.2 e 6.2.a observa-se que o solo de TEPB , sem aditivo apresentou uma umidade ótima de 20% para uma massa específica aparente seca de 1652 kg/m^3 . Após a adição da cal N, nota-se que há um aumento da umidade ótima passando para 24% e 24,5% com 6% e 9% respectivamente, enquanto que a massa específica aparente seca praticamente não se modificou, passando de 1652 kg/m^3 para 1650 kg/m^3 e 1647 kg/m^3 com 6% e 9% respectivamente. Já com a cal V, observa-se que há um aumento da umidade ótima passando para 21,1% e 23,8% com 6% e 9% respectivamente, enquanto a massa específica aparente seca sofreu uma diminuição, passando de 1652 kg/m^3 para 1605 kg/m^3 e 1600 kg/m^3 com 6% e 9% respectivamente. Com isto observa-se que para este solo a cal V, teve maior influência na massa específica aparente seca, e a cal N apresentou maior influência na umidade.

SOLO NFPB

Nas Figs. 6.2.b e 6.2.c observa-se que o solo de NFPB sem aditivo apresentou uma umidade ótima de 17,6% para uma massa específica aparente seca de 1745 kg/m^3 . Após a adição da cal N, nota-se que há um aumento da umidade ótima, passando para 21,4% e 22,4% com 6% e 9% respectivamente, enquanto que a massa específica aparente seca diminuiu de 1745 kg/m^3 para 1725 kg/m^3 e 1727 kg/m^3 com 6% e 9% respectivamente. Observando que a massa específica aparente seca para 9% da cal N, foi um pouco maior que para 6%. Já com a cal V, observa-se que há um aumento na umidade ótima passando para 20,0% e 20,4% com 6% e 9% respectivamente, enquanto a massa específica sofreu uma diminuição, passando de 1745 kg/m^3 para 1680 kg/m^3 e 1680 kg/m^3 respectivamente. Sendo observado que com a cal V a 6% e 9% a umidade foi modificada mas a massa específica aparente seca manteve-se constante.

SOLO JPPB

Nas Figs. 6.2.d e 6.2.e observa-se que o solo de JPPB sem aditivo apresentou uma umidade ótima de 20% para uma massa específica aparente seca de 1630 kg/m^3 . Após a adição da cal N, nota-se que há um aumento da umidade ótima, passando para 21,5% e 23% com 6% e 9% respectivamente, enquanto que a massa específica aparente seca diminuiu de 1630 kg/m^3 para 1627 kg/m^3 e 1625 kg/m^3 com 6% e 9% respectivamente. Já com a cal V, observa-se que há um aumento na umidade ótima passando para 21,3% e 23,6% com 6% e 9% respectivamente, enquanto a massa específica aparente seca sofreu uma diminuição, passando de 1630 kg/m^3 pa

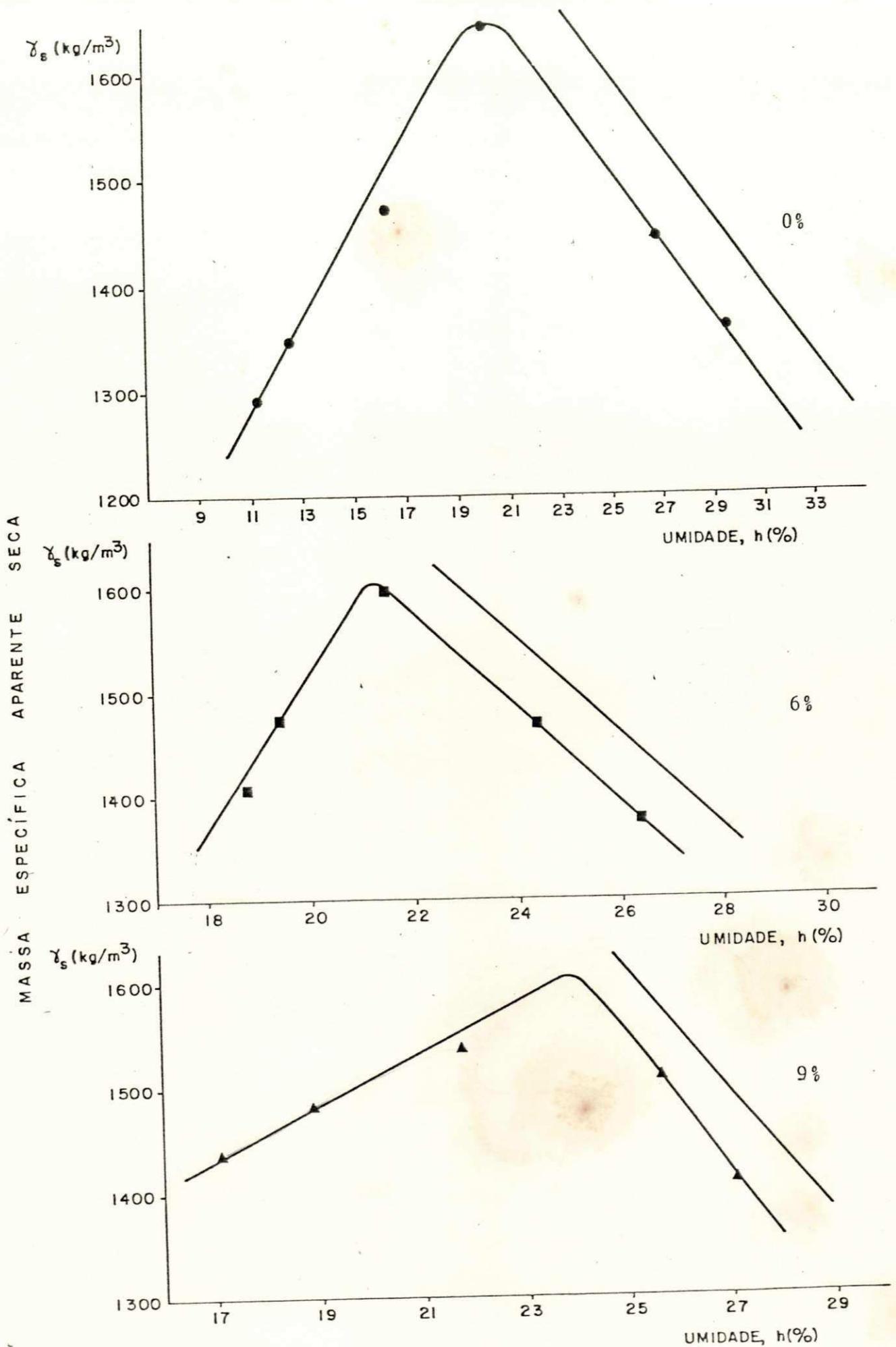


Figura 6.2 - Relação entre a Massa Específica Aparente Seca e as Umidades de Compactação para percentuais de 0%, 6% e 9% da Cal V para o Solo de TEPB.

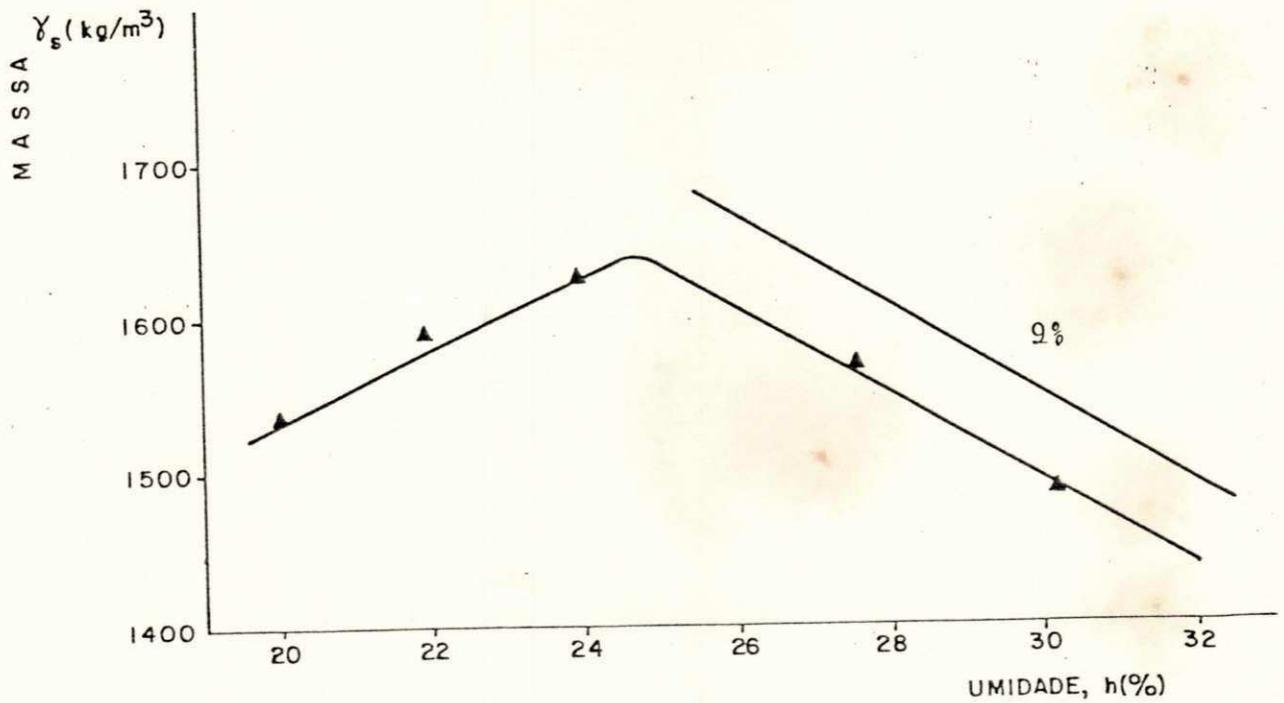
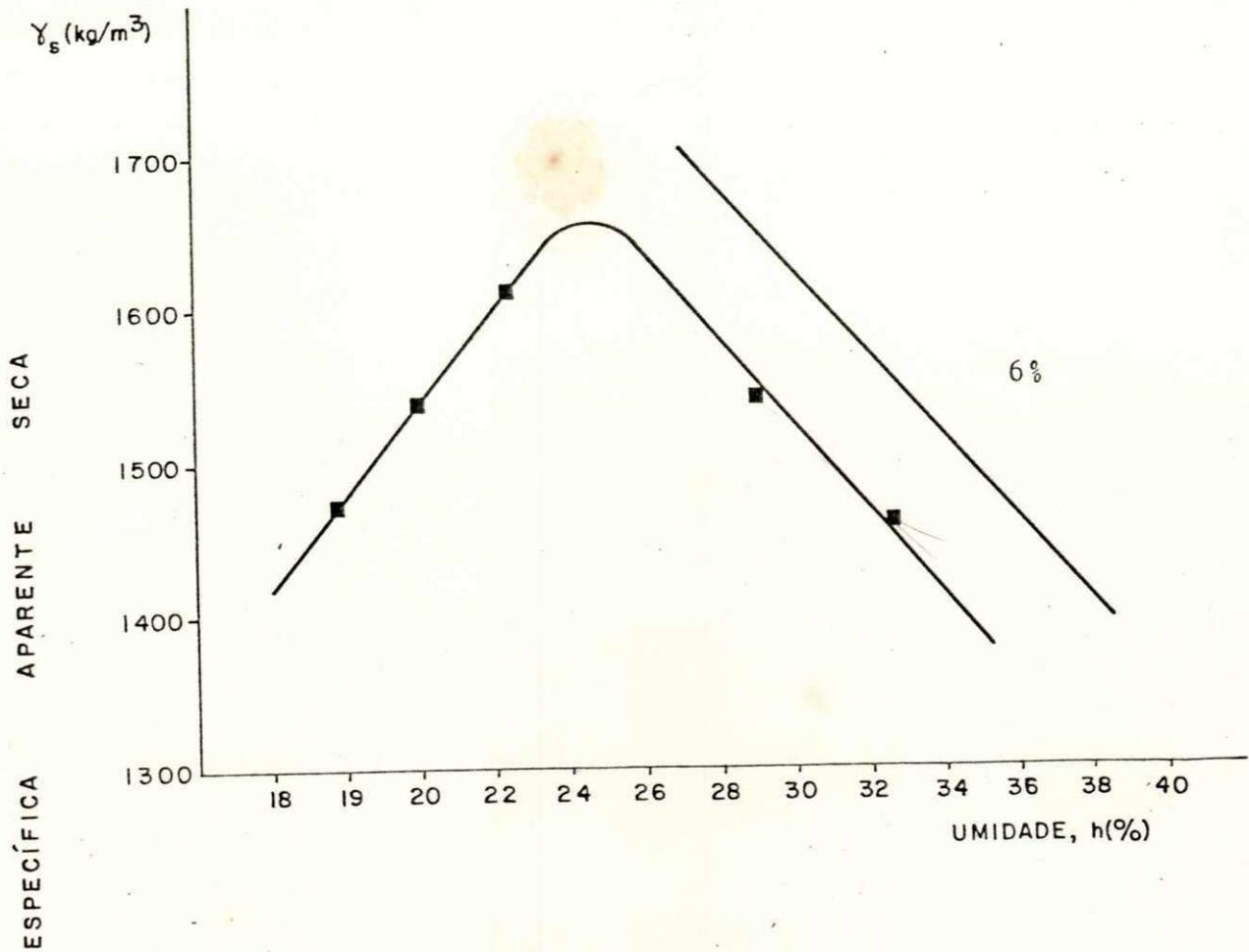


Figura 6.2.a - Relação entre a Massa Específica Aparente Seca e as Umidades de Compactação para Percentuais de 6% e 9% da Cal N para o Solo de TEPB.

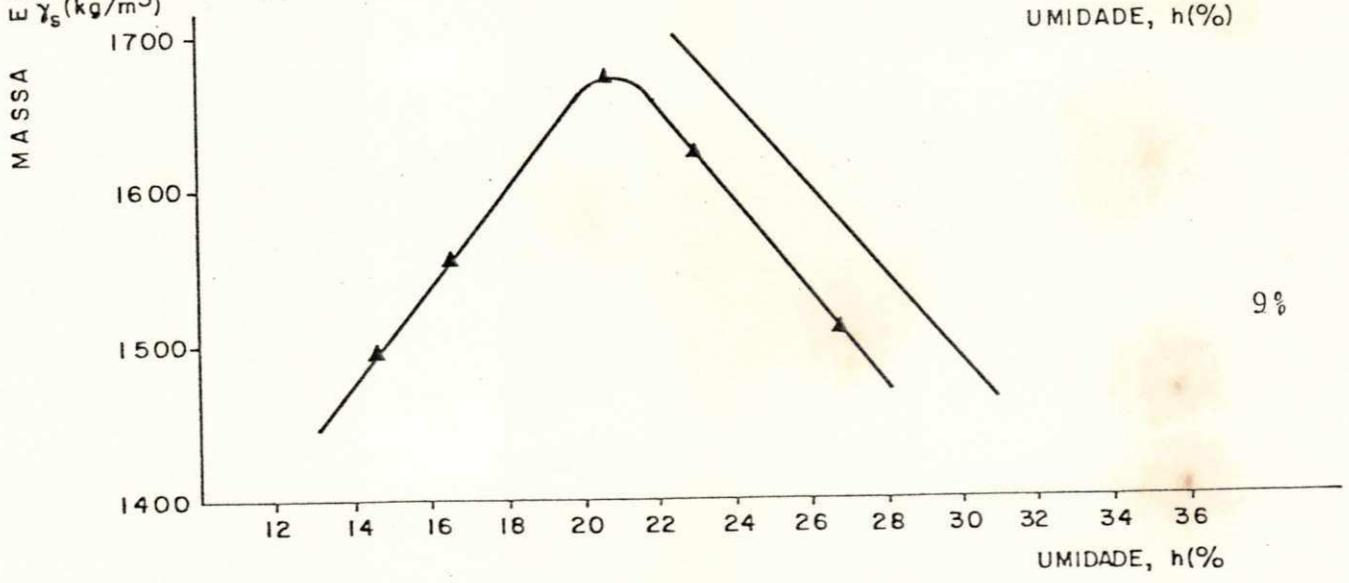
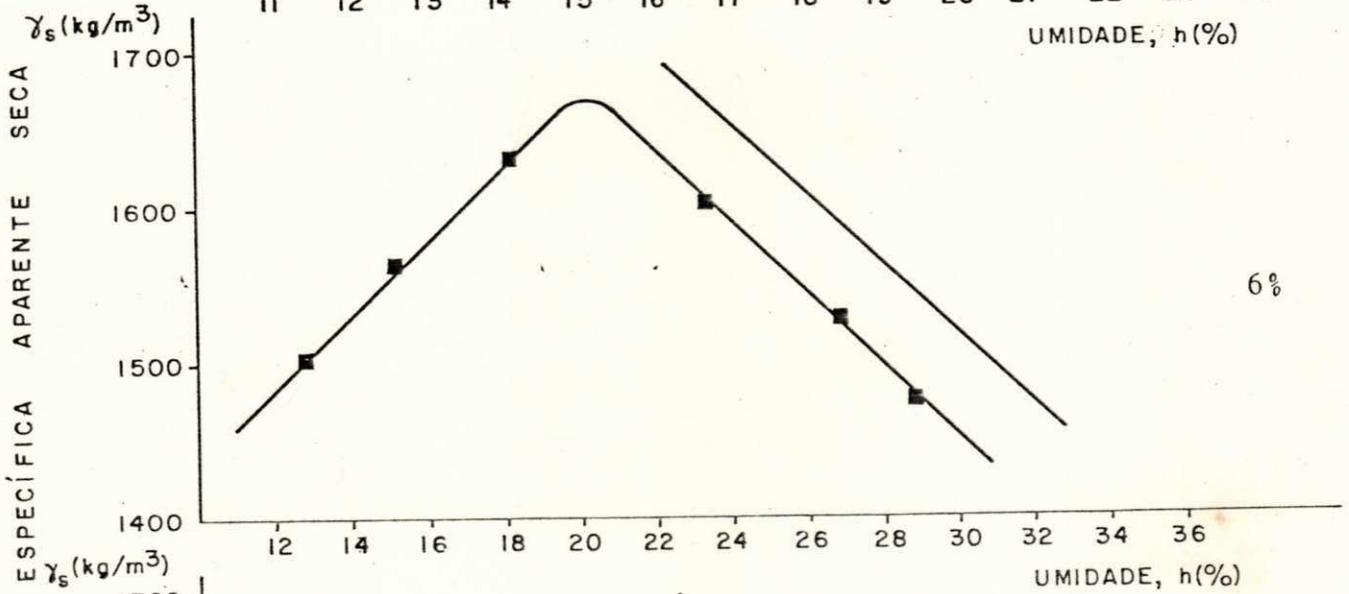
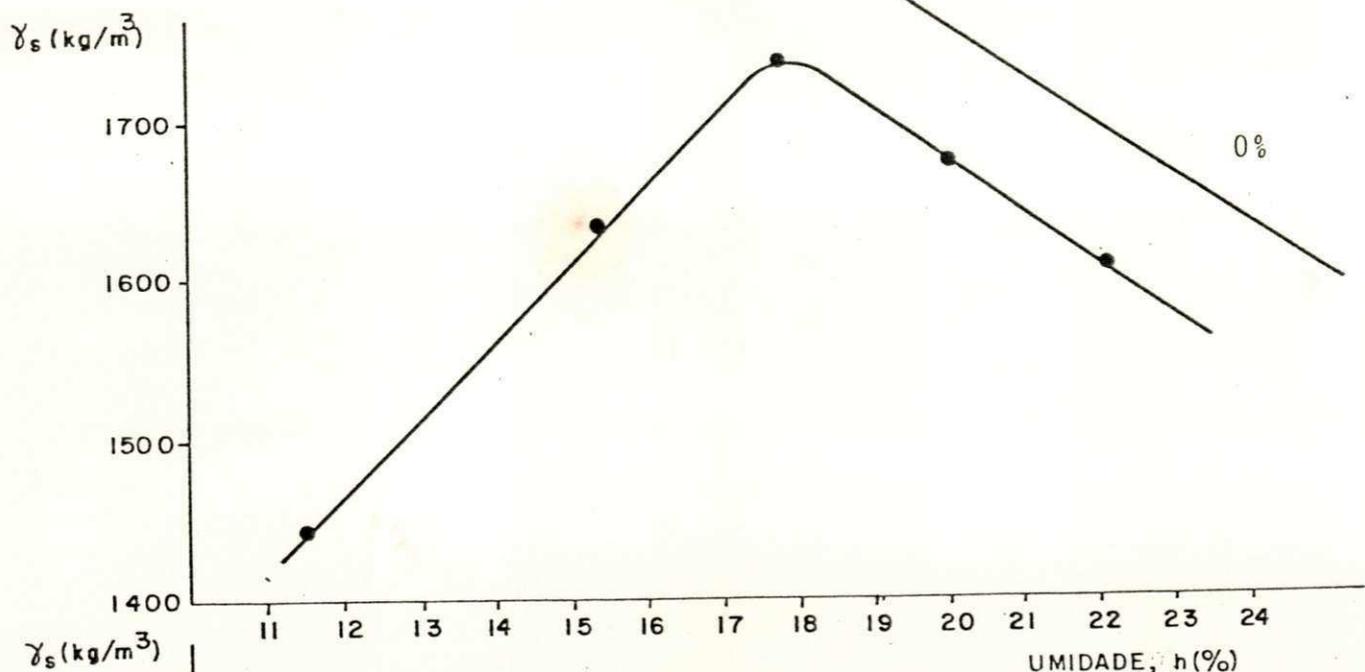


Figura 6.2.b - Relação entre a Massa Específica Aparente Seca e as Umidades de Compactação para Percentuais de 0%, 6% e 9% da Cal V para o Solo de NFPB.

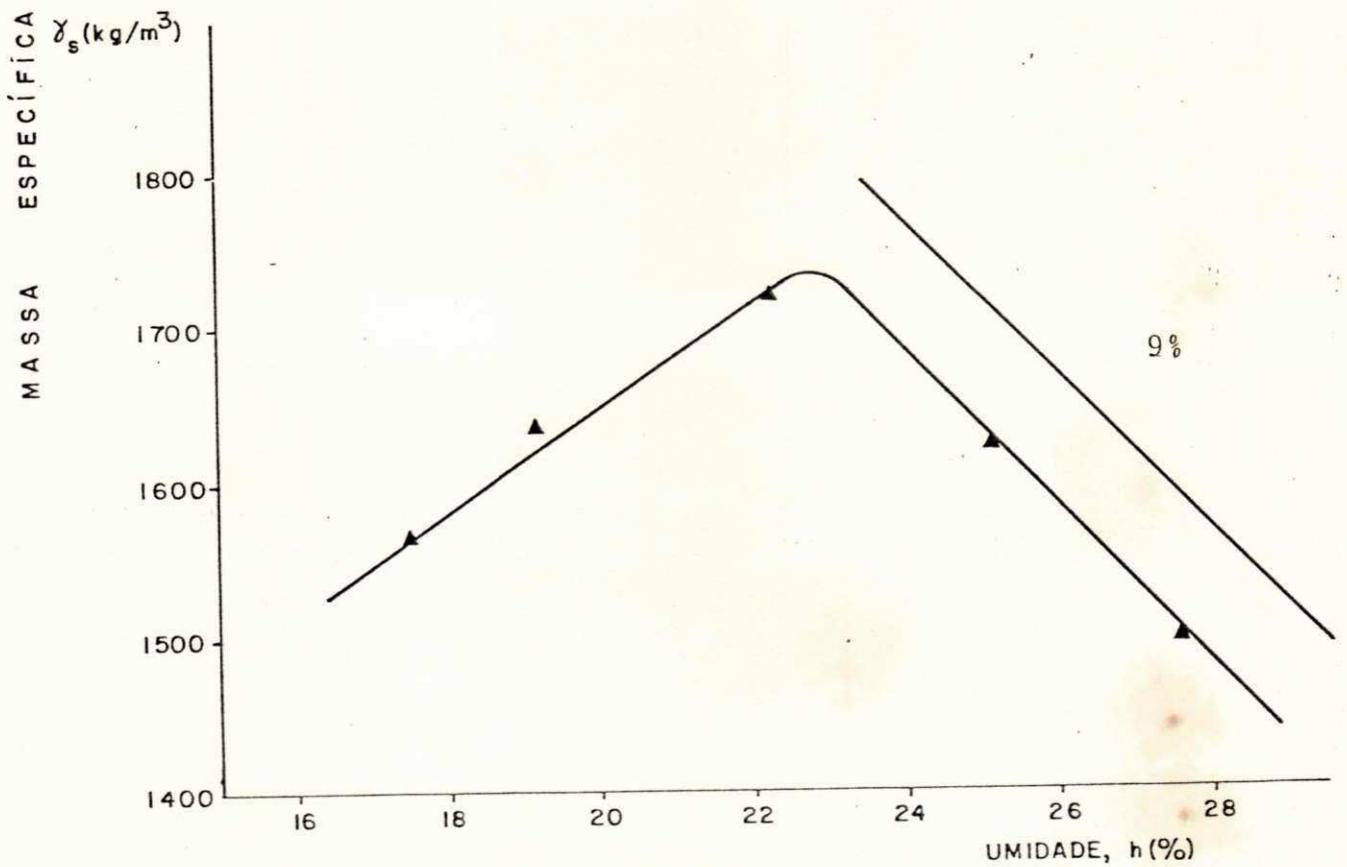
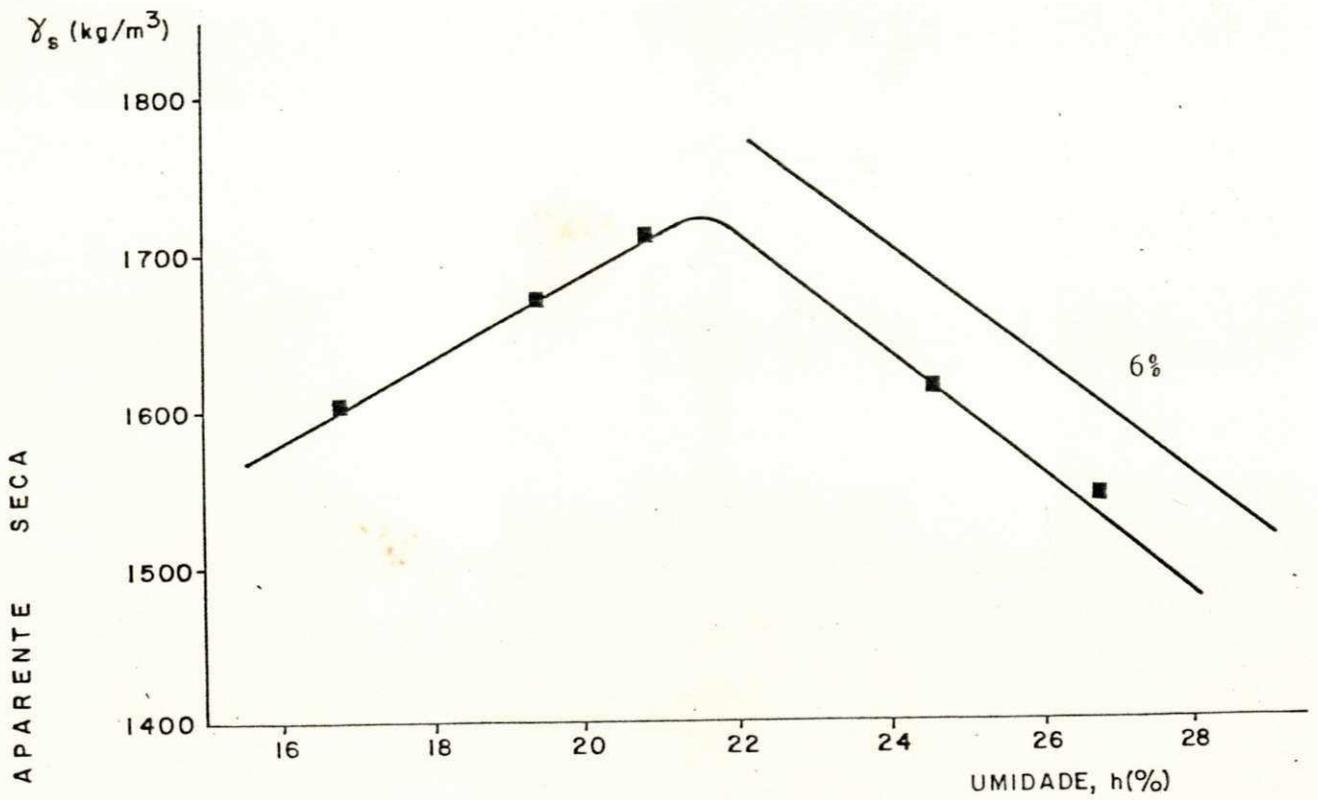


Figura 6.2.c - Relação entre a Massa Específica Aparente Seca e as Umidades de Compactação para Percentuais de 6% e 9% da Cal N para o Solo de NFPB .

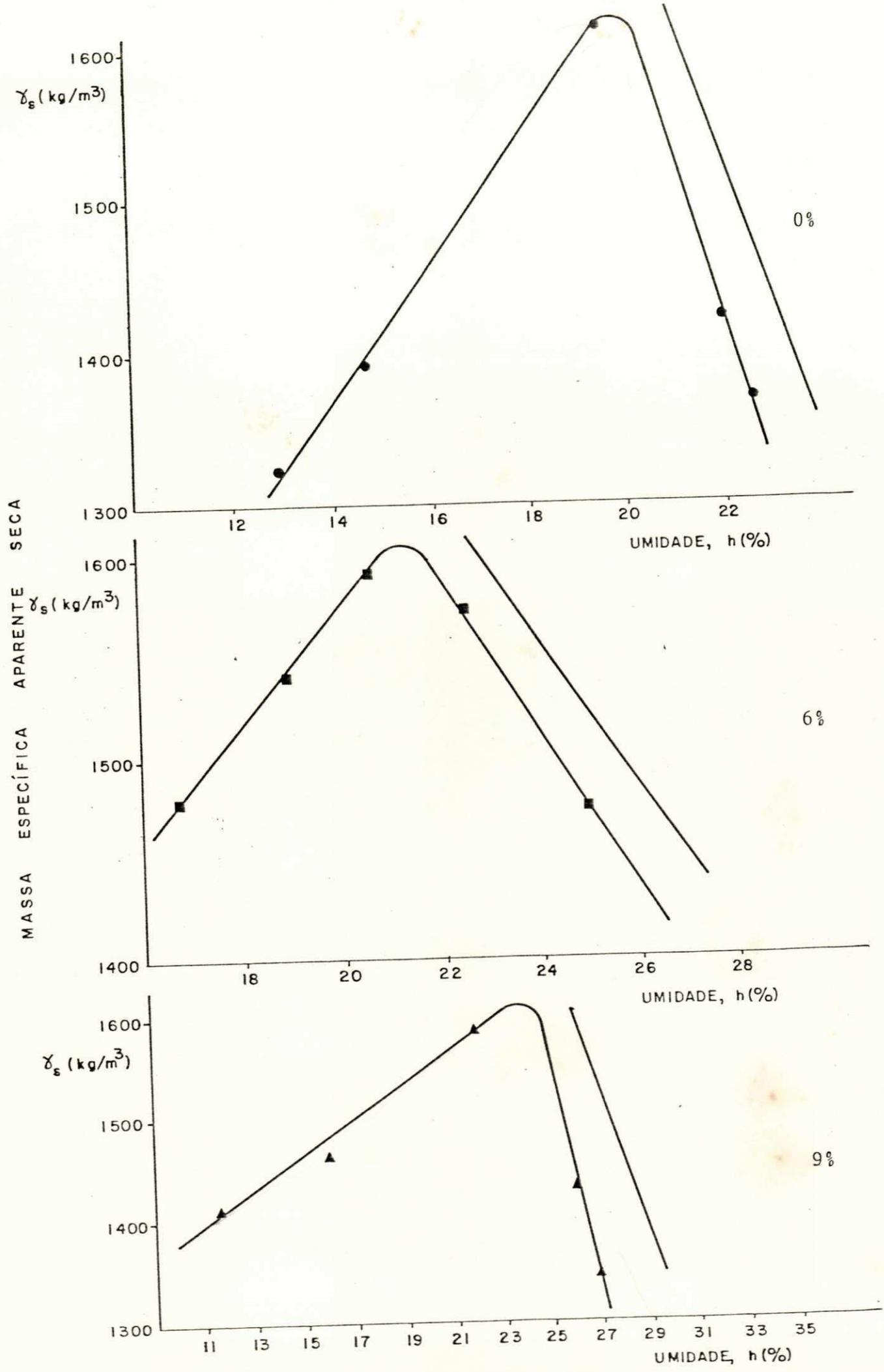


Figura 6.2.d - Relação entre a Massa Específica Aparente Seca

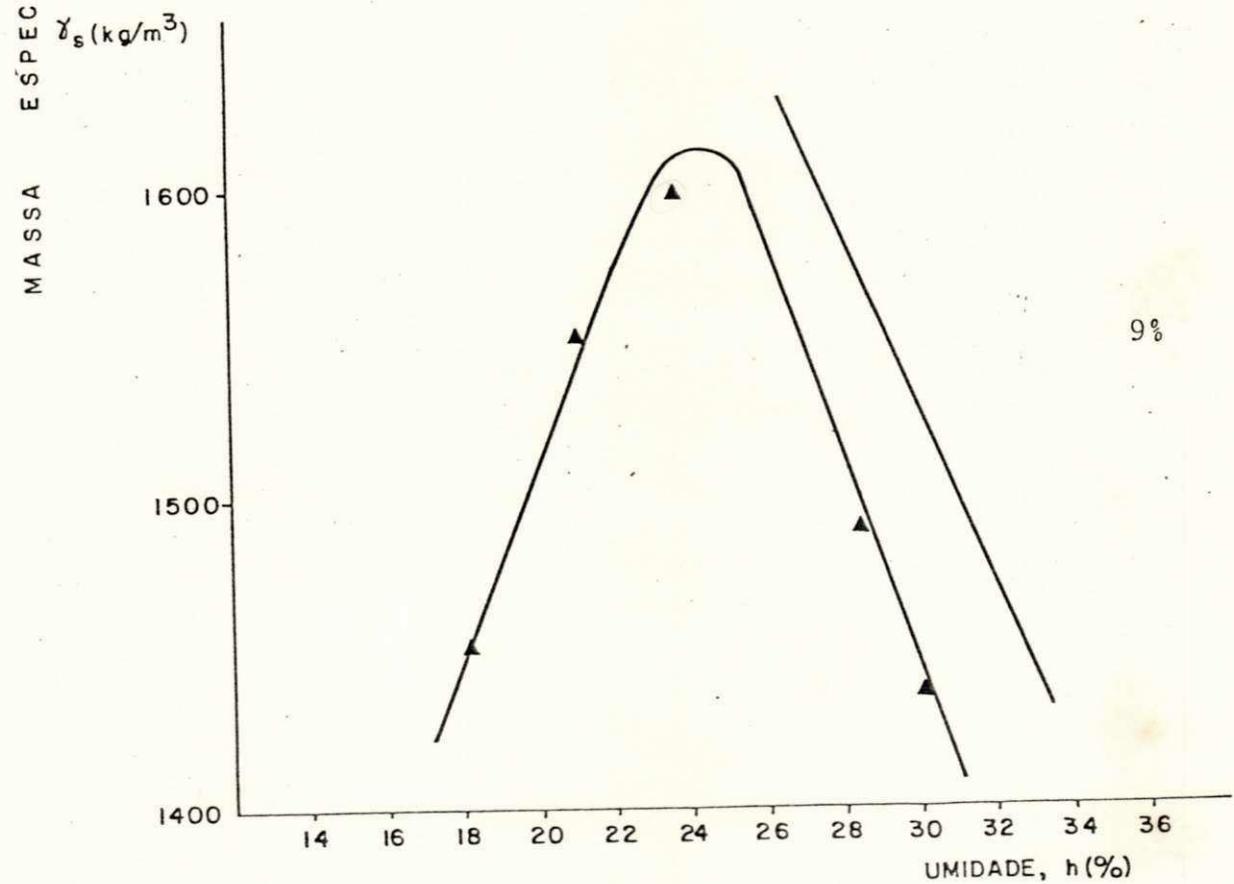
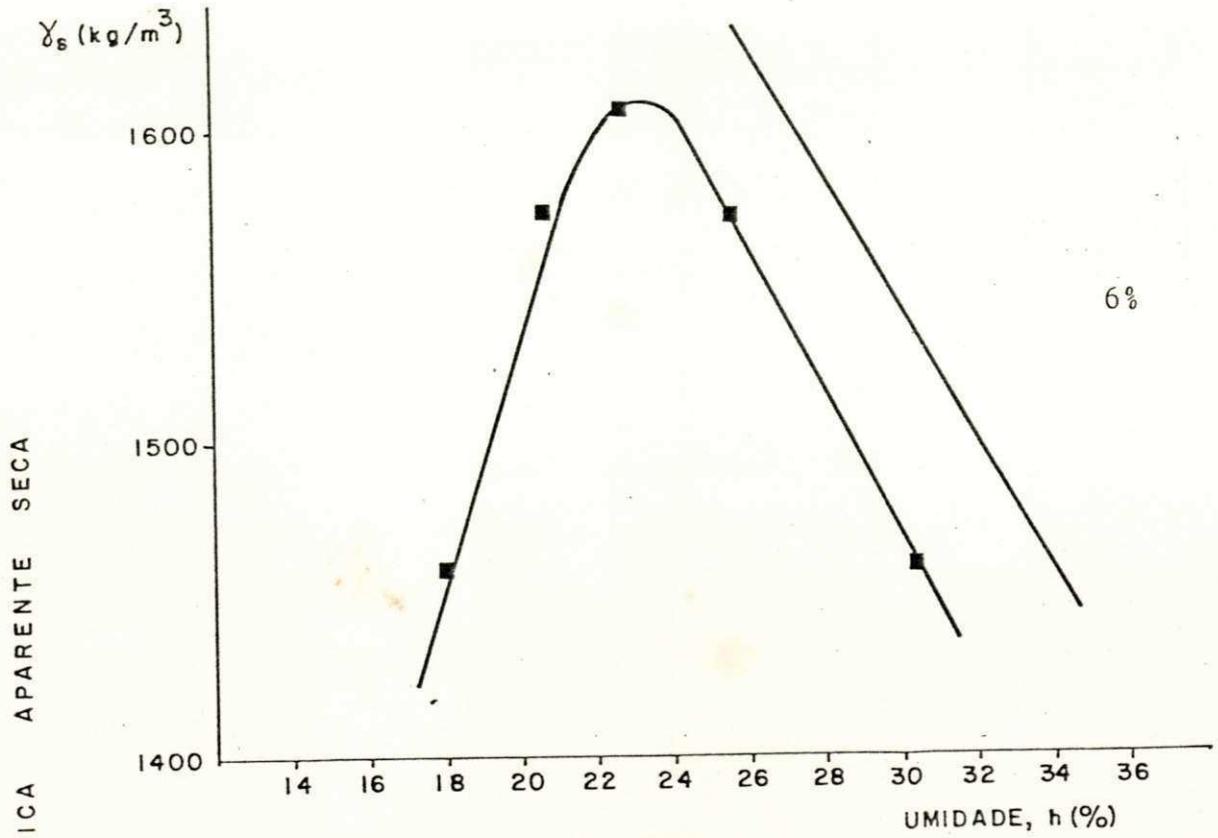


Figura 6.2.e - Relação entre a Massa Específica Aparente Seca e as Umidades de Compactação para Percentuais de 6% e 9% da Cal N para o Solo de JPPB.

ra 1605 kg/m^3 e 1608 kg/m^3 com 6% e 9% respectivamente. Observando que a massa específica aparente seca para 9% da cal V foi um pouco maior que para 6%.

Analisando os três solos a 0% e depois tratados com 6% e 9% das cal N e V, observamos que a influência na umidade para os três solos foi de aumento e na massa específica aparente seca de diminuição. Com exceção da massa específica aparente seca para os teores de 6% e 9% da cal V no solo NFPB que se manteve constante e também para o teor de 9% da cal N e 9% da cal V nos solos NFPB e JPPB respectivamente, onde ocorreu um ligeiro aumento na massa específica aparente seca.

Comportamentos semelhantes foi verificado por vários pesquisadores, inclusive estudando os mesmos solos por nós pesquisados (Ferro 1976, Queiroz de Carvalho 1979, Aflitos 1981 e outros), onde a explicação para o aumento da umidade e diminuição da massa específica aparente seca, após a adição da cal nos solos está ligada a vários fatores que até o presente não estão ainda justificados.

Para Hayter e Cairns (1966) atribuem estas variações ao efeito combinado da alteração granulométrica dos solos e ao efeito da massa específica real da cal. Cabrera e O'Flaherty (1975) sugere que com a adição da cal ao sistema solo-cal-água, ocorre a adsorção de íons cálcio na superfície das partículas de argila, possibilitando sua flocculação. Os flocos formados contém microporos que retêm água, que de outro modo estaria disponível para lubrificação durante o processo de compactação, causando assim o aumento no teor da umidade ótima e redução da massa específica aparente seca. Queiroz de Carvalho (1979), Lambe (1968) define^M o aumento no grau de flocculação como decorrente da

da elevação da concentração eletrolítica do sistema solo-água , pela adição da cal. Esta afirmativa tenta uma justificativa para o fato que pela floculação ocorre a apreensão de água pelo sistema floculado e com isto ocorrendo um desequilíbrio elétrico (teoria da dupla camada difusa). Souza Santos (1975 e 1980), analisando o efeito do cálcio como cátion trocável em argilas caulínicas, refere-se a: o efeito inicial deste cátion incide sobre a película de água adsorvida na superfície dos argilo minerais, que se torna muito mais rígida, isto é, com elevado grau de orientação ou cristalinidade, assim sendo, a água sofre uma força de ligação apreciável. Esta película de água rígida, por reduzir a água livre do sistema, aumenta a quantidade de água total necessária para se ter água líquida agindo como lubrificante.

Apesar de todas as observações aqui apresentadas e verificações feitas pelos estudiosos, nada ainda justifica com certeza o que realmente ocorre com a umidade e massa específica aparente seca com a adição da cal. Sendo que dentre todas as teorias a de Souza Santos (1975 e 1980) é a que melhor justifica o aumento da umidade, pois é bem provável que ocorra este mecanismo quando se adiciona cal aos solos lateríticos, onde neste caso, o argilo mineral predominante é a caulinita. Não sendo uma teoria completa, pois não justifica a diminuição da massa específica aparente seca, já que o comportamento do aumento da umidade e diminuição da massa específica aparente seca sempre ocorrem associados.

6.2.2 - Compressão Simples

Os resultados dos ensaios de compressão simples para os

solos de TEPB, NFPB e JPPB estão contidos nas Tabelas 6.5, 6.6 e 6.7 .

A adição da cal aos solos, modificou em diferentes in tensidades a resistência à compressão simples, como também a variação das umidades.

Na Tabela 6.1 temos o resultado da resistência à compres são simples para o máximo teor das cais e tempo de cura do solo natural e tratados com cal. Analisando as modificações ocorri - das na resistência à compressão simples para os três solos com a adição das cais temos:

SOLO TEPB

Na Tabela 6.5 temos o resultado da resistência à com pressão simples para este solo na umidade ótima 20,0% e nas umi dades seguintes do ramo úmido (21,5% e 23,0%), com as duas cais nos percentuais de 0%, 3%, 6% e 9% e curadas por períodos de 7, 14, 28 e 56 dias.

Nas Figs. 6.4, 6.4.a e 6.4.b observa-se a relação das umidades de moldagem com a resistência para percentuais de 3% , 6% e 9% nos tempos de 7 a 56 dias de cura. Neste solo não é sen sível a influência do teor de umidade de moldagem na resistên - cia à compressão simples do solo moldado com a cal N, enquanto que com o uso da cal V, as diferenças são mais evidentes, deven do ser mencionado que certos solos lateríticos apresentam uma elevada sensibilidade as pequenas diferenças na umidade de com pactação, Lima (1983), provavelmente em virtude do tipo da cal utilizada. Temos casos em que a máxima resistência à compressão simples é obtida tanto na umidade de 20%, como na de 21,5% ou 23% .

Observando a Tabela 6.5 no percentual de 9% para a cal N, e com 56 dias de cura, temos para a umidade de 20% um valor na RCS de 900 KPa, onde com a umidade de 21,5% e 23%, temos um valor de 961 KPa e 900 KPa respectivamente. Onde podemos observar que este fato ocorre para outros percentuais.

Nas Figs. 6.7.a e 6.7.b temos a relação da resistência com os dias de cura para as umidades de 20%, 21,5% e 23%, com as cal N e V. Nestes gráficos observamos que, a medida que aumentamos a cura e o percentual da cal N e V, temos um aumento na RCS.

Analisando o solo natural e com a adição da cal N, na umidade de 21,5% com 56 dias de cura, temos um resultado crescente na RCS. O solo a 0% apresenta um valor de 162 KPa, com 3%, 6% e 9% da cal N, temos 306 KPa, 745 KPa e 961 KPa respectivamente. Já para a cal V, na mesma umidade e mesmo tempo de cura, temos um valor para 3%, 6% e 9% de 178 KPa, 179 KPa e 337 KPa respectivamente (neste solo com a cal V, foi a máxima resistência à compressão simples).

Nas Figs. 6.10 e 6.10.a observa-se o aumento na resistência com percentuais das cal N e V para as três umidades de moldagem. Nestes gráficos observamos bem a pouca influência das umidades de moldagem nos valores da RCS para este solo. Onde os valores da máxima resistência para os percentuais de 3%, 6% e 9% apresentam valores máximos nos períodos de 7, 14, 28 e 56 dias em umidade diversas de moldagem.

SOLO NFPB

Na Tabela 6.6 temos o resultado da resistência à compressão simples para este solo na umidade ótima 17,6% e nas umi

dades seguintes do ramo úmido (19% e 20,4%) com as duas cais nos percentuais de 0%, 3%, 6% e 9% e curados por períodos de 7, 14, 28 e 56 dias.

Nas Figs. 6,5, 6.5.a e 6.5.b observa-se a relação das umidades de moldagem com a resistência para percentuais de 3%, 6% e 9% nos tempos de 7 a 56 dias de cura. Neste solo é sensível a influência do teor de umidade de moldagem na resistência à compressão simples, tanto para a cal N como para a cal V, sendo que a variação dos resultados da RCS com a cal N para as três umidades de moldagem é mínimo.

A máxima resistência à compressão simples para este solo, é obtida na umidade ótima 17,6% com as duas cais. Nas Figs.6.8, 6.8.a e 6.8.b temos a relação da resistência com os dias de cura para as umidades de 17,6%, 19% e 20,4% com as cais N e V. Nestes gráficos observamos que, a medida que aumentamos a cura e o percentual da cal N e V, temos um aumento na RCS.

Analisando o solo natural e com a adição da cal N, na umidade de 17,6% com 56 dias de cura, temos um resultado crescente na RCS. O solo a 0% apresenta um valor de 97 KPa com 3% 6% e 9% da cal N, temos 414 KPa, 480 KPa e 557 KPa respectivamente, já para a cal V, na mesma umidade e mesmo tempo de cura temos um valor para 3%, 6% e 9% de 247 KPa, 433 KPa e 447 KPa, respectivamente. Mostrando com isto, que este solo não apresenta grandes incrementos no valor da RCS com a adição da cal N ou V. Esta variação é observada também para outros percentuais e outros períodos de cura, sendo que com as umidades de 19% e 20,4% esta variação aumenta, não apresentando este solo uma sequência lógica, quanto ao ganho de resistência.

Nas Figs. 6.11 e 6.11.a observa-se o aumento na resistência com percentuais das cais N e V para as três umidades de moldagem. Nestes gráficos observamos bem a influência das umidades de moldagem nos valores da RCS, onde o máximo valor é obtido na umidade ótima 17,6% a 56 dias para todos os percentuais com as duas cais.

SOLO JPPB

Na Tabela 6.7 temos o resultado da resistência à compressão simples para este solo na umidade ótima 20% e nas umidades seguintes do ramo úmido (21,5% e 23%) com as duas cais nos percentuais de 0%, 3%, 6% e 9% e curados por períodos de 3, 7, 14, 28 e 56 dias.

Nas Figs. 6.6, 6.6.a e 6.6.b observa-se a relação das umidades de moldagem com a resistência para percentuais de 3%, 6% e 9% nos tempos de 7 a 56 dias de cura. Neste solo é sensível a influência do teor de umidade de moldagem na resistência à compressão simples, tanto para a cal N como para a cal V, sendo que a variação dos resultados da RCS com a cal N para as três umidades de moldagem é mínimo.

A máxima resistência à compressão simples para este solo, é obtida na umidade ótima 20% com as duas cais.

Nas Figs. 6.9, 6.9.a e 6.9.b temos a relação da resistência com os dias de cura para as umidades de 20%, 21,5% e 23% com as cais N e V. Nestes gráficos observamos que a medida que aumentamos a cura e o percentual da cal N e V, temos um aumento na RCS.

Analisando o solo natural e com a adição da cal N, na umidade de 20% com 56 dias de cura, temos um resultado crescen-

te na RCS. O solo a 0% apresenta um valor de 140 KPa com 3%, 6% e 9% da cal N, temos 560 KPa, 728 KPa e 814 KPa respectivamente, já para a cal V na mesma umidade e mesmo tempo de cura temos um valor para 3%, 6% e 9% de 146 KPa, 245 KPa e 277 KPa respectivamente.

Nas Figs. 6.12 e 6.12.a observa-se o aumento na resistência com percentuais das cais N e V para as três umidades de moldagem. Nestes gráficos observamos bem a influência das umidades de moldagem nos valores das RCS, onde o máximo valor é obtido na umidade ótima 20% a 56 dias para todos os percentuais com as duas cais, embora em certos casos a variação é muito pequena, mostrando pouca diferença entre as três umidades.

A adição das cais aos solos pesquisados modificou a RCS em diferentes graus. Nas Tabelas 6.5, 6.6 e 6.7 temos o resultado da resistência à compressão simples para os solos tratados com várias percentagens das cais, a faixa de valores para a máxima resistência à compressão simples está compreendida entre 190 KPa e 337 KPa para a cal V e 190 KPa e 961 KPa para a cal N, no solo TEPB; 97 KPa e 447 KPa para a cal V e 97 KPa e 557 KPa para a cal N, no solo de NFPB e 140 KPa e 227 KPa para a cal V e 140 KPa e 814 KPa para a cal N, no solo de JPPB, com 0% e 9% das cais, 56 dias de cura e com várias umidades. Nos três solos mesmo com 9% da cal N não foi possível definir um máximo, contudo, não se prosseguiu além dos 9%, pois a adição de mais de 7% de cal é comprovadamente anti-econômico, sendo na maioria das vezes mais interessante substituir-se a cal por outro aditivo que com menor percentual se consiga bons resultados. Dentre os três solos, o de TEPB e JPPB são solos que apesar de exigem maiores quantidades de cal para atingirem seu ponto de satu

ração, apresentavam uma gradual elevação na resistência à compressão simples, caso não observado para o solo de NFPB. Os valores contidos na Tabela 6.6, para este solo, evidenciam claramente, que não há uma lógica nos resultados obtidos em termos de ganho de resistência para as diferentes concentrações das cals. Observamos que neste solo, comparado aos solos de TEPB e JPPB, não houve grandes influências quando tratados tanto com a cal N como com a cal V, e também com relação aos dias de cura. O máximo valor da resistência à compressão simples foi de 557 KPa para a cal N e 447 KPa para a cal V. Observamos aqui que a variação é mínima, levando em consideração que estamos trabalhando com cals N e V.

Comparando o resultado do solo de NFPB com os solos de TEPB e JPPB, observamos que o incremento na resistência foi baixo, justificando que, trabalhamos nas mesmas condições para os três solos. Embora Queiroz de Carvalho (1979) e Queiroz de Carvalho e Cabrera (1979) analisam e discutem que a razão para os solos se comportarem desta maneira, é devido a influência de materiais amorfos, sílica (Si) e alumínio (Al), já que o ganho de resistência de uma mistura solo cal é devido a reações químicas que ocorrem com o cálcio da cal, a sílica e alumínio provindo dos minerais de argila do solo, e com isto formando produtos cimentícios (reação pozolânica). Estas reações são altamente dependentes do tempo de cura, para ocorrer a formação apreciáveis na quantidade de gels. Embora Diamond e Kinter (1965), tenham pressuposto que produtos de reação pozolânica são formados imediatamente depois da cal entrar em contato com o solo-água.

Ferro (1976), acredita que este aumento na resistência

imediate são de natureza físico-química, isto é, reação de troca de cátions na superfície do solo produz variações na geometria do sistema solo-cal-vazio-água e estas variações são responsáveis pelo aumento nos valores da resistência.

Como pode ser visto não se conseguiu nesta análise de resultados, nenhuma explicação coesa que pudesse justificar de uma maneira simplista o comportamento desses solos, em termos de ganho de resistência. O motivo para o fato, está ligado a complexidade dos fenômenos envolvidos, onde a justificativa de influência de uma propriedade do sistema solo-cal estar ligada a muitas outras propriedades as quais não se tem adequado conhecimentos. Após uma análise completa em termos de ganho de resistência para os três solos, nas diferentes concentrações das cals, diferentes tempos de cura, diferentes teores de umidade e para as limitações das condições de laboratório utilizadas que: a cal V nos três solos apresentou péssima reatividade. E a cal N apresentou boa reatividade para os solos de TEPB e JPPB. Deixando o solo de NFPB numa faixa de baixa reatividade.

Resumindo, dentro de uma escala de reatividade teríamos o solo de TEPB e JPPB como reativos e o solo de NFPB como um solo de baixa reatividade nas condições de estudo.

Com relação aos resultados obtidos nesta pesquisa, e comparando com resultados encontrados por outros pesquisadores referentes aos solos em estudo, e sua reatividade a cal conforme foi apresentada na revisão bibliográfica, temos resultados compatíveis aos obtidos nesta pesquisa, como também divergência de resultados.

Analisando o solo de TEPB, Queiroz de Carvalho (1979), usando RCS através do parâmetro de Thompson, concluiu que este

solo é de baixa reatividade. Mas temos que levar em conta as condições usadas por Queiroz de Carvalho (1979), sendo usado 6% de aditivo e 28 dias de cura. Já Cabrera e Nwakanma (1979), no mesmo ano, usando índice de atividade pozolânica concluíram que o solo de TEPB é um solo pozolânico. Cabrera e Queiroz de Carvalho (1979), usando DCTC para este solo, concluíram que o solo de TEPB é altamente reativo e próprio para base. E ainda Aflitos (1981), usando RCS com percentual de 10% de cal concluiu que com o incremento de cal, ocorre uma gradual elevação na tensão de ruptura à compressão não confinada, não sendo definido um máximo, mas dando uma idéia de reatividade para o solo de TEPB.

Analisando as conclusões dos pesquisadores com os resultados obtidos por nós, temos que o solo de TEPB é reativo a cal.

Fazendo uma análise do solo de JPPB, Queiroz de Carvalho (1979), usando também parâmetros de Thompson, concluiu que o solo de JPPB é de alta reatividade. Cabrera e Nwakanma (1979) usando o índice de atividade pozolânica, concluíram que o solo de JPPB é um solo pozolânico dentro da faixa estabelecida por eles. E Queiroz de Carvalho e Cabrera (1979), no mesmo ano, usando DCTC, concluíram que o solo de JPPB é altamente reativo e próprio para bases. Neste solo todas as conclusões são convergentes quanto a reatividade a cal para o solo de JPPB. Sendo os resultados apresentados pelos pesquisadores, compatíveis aos obtidos por nós. E completando esta análise, o solo de JPPB foi o que apresentou melhor resultado na resistência à compressão simples quando tratado com a cal N.

Analisando o solo de NFPB, este é um solo que podemos

denominá-lo de solo "polêmico", pois os resultados obtidos pelos pesquisadores são os mais divergentes possíveis. Em cada método utilizado para testar a reatividade a cal, este solo responde de uma maneira diferente quanto a sua reatividade. Ferro (1976), usando ensaio de CBR, obteve para este solo resultado de boa reatividade e próprio para base. Queiroz de Carvalho (1979), pelo método de RCS, usando parâmetro de Thompson, concluiu que este solo é de baixa reatividade. Para maior conflito Cabrera e Nwakanma (1979), pelo método do índice de atividade pozolânica concluíram que o solo não é pozolânico. Já Queiroz de Carvalho (1979), usando DCTC encontrou resultados que classificava este solo como reativo e próprio para sub-bases e sub-leito. Só nestes dois últimos resultados, temos conclusões totalmente opostas. Pois Cabrera e Nwakanma (1979) afirmam que o solo não é pozolânico, em contraposição Queiroz de Carvalho (1979) afirma que o solo é reativo. Sendo que a afirmação de Queiroz de Carvalho (1979), deixa uma certa interrogação, pois ele encontrou um valor de 1,08 meq/100 g para este solo, onde este valor é muito próximo ao limite inferior (1,00 meq/100 g) da faixa de classificação para os solos reativos e não reativos. Como o valor encontra-se próximo da faixa limite inferior, poderia ser classificado como um solo de baixa reatividade. Temos ainda Lima (1983), usando ensaio de compressão triaxial, que por sinal dentre todos os ensaios de resistência mecânica é o mais representativo para a situação real do solo no campo. Em suas conclusões Lima (1983) afirma que o solo de NFPB é um solo com tendências a não reatividade a cal. Podemos observar que de uma análise geral, o único solo conflitante é o solo de NFPB, onde os resultados obtidos pelos pesquisadores com relação a

reatividade a qual são os mais polêmicos possíveis.

Em frente a este conflito e dos resultados obtidos nes
ta pesquisa, podemos afirmar que dentre os três solos estudados
o de NFPB é o único com baixa reatividade.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES

Estudou-se a estabilização de três solos lateríticos do Estado da Paraíba com cal calcínicas, sendo que uma delas foi previamente envelhecida. Deve ser observado que na moldagem dos corpos de prova foram propositalmente utilizadas três umidades, podendo se chegar as seguintes conclusões:

1. os valores encontrados nos ensaios de caracterização dos solos estudados estão dentro da faixa dos resultados normalmente obtidos para os solos lateríticos;
2. a adição das cals N e V a qualquer dos solos pesquisados influenciou visivelmente suas propriedades de compactação, diminuindo sua massa específica aparente seca e aumentando as umidades de compactação;
3. a cal V teve maior influência na diminuição da massa específica aparente seca e a cal N no aumento da umidade de compactação;
4. é sensível a influência do teor de umidade de moldagem na resistência à compressão simples para os solos de JPPB e NFPB moldados com as cals N e V;
5. os melhores resultados para a resistência à compressão simples são obtidos com percentuais de 6% e 9% para a cal N e com idades de cura de 28 e 56 dias, para os solos de TEPB e JPPB;
6. os resultados obtidos com a cal N, são bem superiores aos obtidos com a cal V, dado a sua condição de envelhecimento.

to;

- 7. em nenhum dos casos estudados foi obtido um máximo de resistência mecânica à compressão simples, havendo portan-
to a necessidade do emprego de maiores quantidades de
cal;
- 8. os solos estabilizados com a cal envelhecida apresenta-
ram maiores variações de resistência mecânica à compres-
são simples em função da umidade de moldagem;
- 9. os melhores resultados em termos de ganho de resistência
nas misturas solo-cal com 7 dias de cura, usando especi-
ficações do Departamento de Estradas de Rodagem do Texas
foram para os solos de TEPB com 6% da cal N e JPPB com
3% da cal N.

Tendo sido classificados como materiais adequados para
uso como sub-bases.

Em resumo podemos verificar que a qualidade da cal é
fundamental na estabilização rodoviária, devendo haver um contro-
le de qualidade sistemático.

Estes resultados são limitados aos materiais estudados ,
não devendo portanto serem feitas extrapolações sem verificações
específicas. Como foi visto no decorrer deste trabalho, foram u-
tilizadas duas cals diferentes o que fatalmente introduziu novas
variáveis que prejudicaram um pouco a análise dos resultados
aqui obtidos. Esta limitação não invalida de forma alguma os
resultados aqui apresentados e servem para indicar que o con-
trole de qualidade da cal, frequentemente negligenciado é de
importância fundamental para a obtenção de estabilização ade

quadas em obras rodoviárias.

CAPÍTULO VIII

SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- 1º) Realizar um estudo mais detalhado da variação da umidade do ramo seco e úmido, usando cais diferentes (dolomítica a cal cítica) para os mesmos solos da pesquisa.
- 2º) Realizar a mesma pesquisa com solos de outras jazidas e re giões, utilizando as mesmas técnicas deste trabalho com cais calcíticas e dolomíticas.
- 3º) Realizar pesquisa similar para tempos maiores de curas e energia de compactação diferentes.
- 4º) Realizar para as mesmas jazidas nas mesmas condições de en velhecimento, ensaios de CBR, Triaxial, DCTC e Índice de Ati vidade Pozolânica.
- 5º) Realizar estudo detalhado com relação a fases mineralógicas formadas procurando observar a ação cimentícia.
- 6º) Realizar estudo similar aos aqui apresentados com cais de uma mesma partida e marca, sendo que uma delas tenha sido previamente envelhecida, tendo em vista a eliminação de va riáveis que possam interferir nas conclusões obtidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - MB1-1937

AFLITOS, A.O., Estabilização de Laterítas com Aditivos Químicos
Dissertação de Mestrado, DEC, CCT, UFPB, 1981.

ANÔNIMO, Métodos de Análises Químicas de Cais Hidratados, Labo-
ratório de Análises Mineraiis do CCT da UFPB.

ANOTAÇÕES de Sala de Aula, - Universidade Federal da Paraíba -
CCT/Campina Grande-1982.

BRAGA, Cícero Ciro de A., Contribuição ao Estudo da Permeabili-
dade e das Características Mecânicas de um Solo Laterítico Es-
tabilizado com Cimento. Dissertação de Tese M.Sc, CCT/UFPB -
1979.

BORBA, Geraldo R., Propriedades de Resistência de um Solo Verme-
lho do Estado da Paraíba. Dissertação de Tese M.Sc, CCT/UFPB
1976.

BORBA, Sonia Maria de C., Estudo das Propriedades Químicas do
Norte e Nordeste do Brasil. Dissertação de Tese M.Sc., Porto
Alegre - 1981.

BATISTA, C.F. Nogueira, Pavimentação; Ed. Globo - Porto Alegre,
RS - Brasil - 1974.

BEZERRA, Raimundo L., A Durabilidade de Solos Lateríticos Esta

bilizados com Cimento e Aditivos. Dissertação de Tese M.Sc., CCT/UFPB, 1976.

BEZERRA, Raimundo L., Estudo de Solos Lateríticos e sua Utilização na Engenharia Rodoviária, DEC, CCT, UFPB, 1978.

COSTA, A. Marcelo, Resistência ao Cisalhamento de uma Argila Mo-le Estabilizada com Cal. Dissertação de Tese M.Sc., CCT/UFPB, 1977.

CASTRO, E. de, e LUIZ, A.S., O Solo-Cal na Pavimentação de Estrada e Aerodromo. LNEEL, MEMÓRIA N° 450, Lisboa, 1974.

CABRERA, José G. e FERRO, José G., Laterita Formação e Propriedades - Campina Grande, 1977.

CABRERA, J.G. e NWAKANMA, C.A., Pozzolanic Activity and Mechanism of Reaction of Road Tropical Soil Lime Systems, Land International Conference on How - Volume Roads, Transportation Research Board, Iowa, USA, 1979.

CABRERA, J.G. e O'FLAHERTY, C.A., The Modifying Effectos of Lime on the Engineering Properties of clay Soils. Presented to the Australian Research Board for Publication in the Proceedings. August (1975).

CARTMELL, H.S. e BERGH, A.D., Lime Stabilization of Soil for as road Foundations in Northern Rhodesia. Overseas Bulletin, n° 9, Road Research Laboratory, 1969.

DIAMOND, S. e KINTER, E.B., Mechanism of Soil-Lime Stabilization
an Interpretive Review - Highway Research Record nº 92, p.
18 - 102, 1965.

DAVIDSON, D.T. e HILL, C.H., Lime Fixation in Clayed Soils -
Highway Research Board Bull. 262, p. 20 - 32, 1960.

Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - DNER - Métodos de
Ensaio. Divisão de Pesquisas Tecnológicas, 1964.

FERREIRA, H.C. e BRITO, L.P., Determinação de Áreas Específi-
cas de Solos Lateríticos do Nordeste do Brasil e Correlações
Lineares entre Métodos Empregados, Revista Cerâmica, São Pau-
lo, No Prelo.

FERREIRA, H.C., CHEN, T.S., ZANDONADI, A.R. e SOUZA SANTOS, P.,
Correlações Lineares entre Áreas Específicas de Caulins do
Nordeste Brasileiro (Estado da Paraíba e Rio Grande do Norte),
Cerâmica nº 18, São Paulo, 1972.

FERRO, J.G.O., A Influência da Cal nas Propriedades de Engenha-
ria de Solos Lateríticos. Dissertação de Tese M.Sc.CCT/UFPB,
1976.

FERRO, J.G.O., Estabilização de um Solo Laterítico com Cal.
São Luiz-MA., 1977.

FEMOR, L.L., What is Laterita the Geological Magazine, New series
Decade; V, VIII, 1971.

FALCÃO, J.M., Sugestões para Definição Geotécnicas de Solos Lateríticos. Curso de Fortificação; Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

FALCÃO, J.M. e CASTRO, G.T., Estudo de Estabilização Granulométrica em Solos Lateríticos. Publicação Técnica CPM - 31/75.

GARCIA, Juan Julio J.M., Suelos Expansivos su Estabilidad com Cal. Dissertação de Tese M.Sc., Rio de Janeiro, 1973.

GUERRA, A. TEIXEIRA, Dicionário Geomorfológico Geológico. IBGE - Rio de Janeiro, 5^a edição, 1978.

GRAY, M.N., Soil Stabilization With Lime an Secondary Chemical Aditivos. Tese Ph.D., Universidade De Leeds, 1972. Inédito.

GUIMARÃES, J.E.P., Estabilização de Solos. Novas e Importante Aplicação da Cal seus Conceitos e suas Vantagens, São Paulo, 1971.

HARRSSOWITY, H., Laterite, Forstunister der Geologie und Paloontologia, 1966.

Ministerio de Minas e Geologia - PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprício Veloso 882 Tel (083) 331 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

HARTY, J.R. e THOMPSON, M.R., Lime Reactivity of Tropical and Subtropical Soils. Highway Research n° 442, p. 102 - 111, 1973.

HAYTER, M.A. e CAIRNS, H., A Field and Laboratory Investigation into the Strength of a Trial Strech of Lime - Stabilized

Soil Pavement in Eastern Nigéria Oversears Bulletin, nº 20,
Road Research Laboratory, 1966.

LUCENA, F.B. e CABRERA, J.G., Propriedades de Solos Lateríticos
do Estado da Paraíba. DNER - Campina Grande, 1977.

LUCENA, F.B., A Natureza e Propriedades de Solos Vermelhos do
Estado da Paraíba. Dissertação de Tese M.Sc., Universidade do
Rio de Janeiro, 1976.

LIMA, R.C., Granulometria dos Solos Lateríticos: metodologia, e
feitos das Energias Térmicas e Mecânicas e Relação com a Com
posição Química e Mineralógica. Dissertação de Tese M.Sc. ,
CCT/UFPB, 1983.

LAMBE. T.W. e WHITMAN, R., Mecânica de Suelos Limusa. Editorial
Mexico, 1976.

LIMA, C.G., Estudos sobre a Reatividade a Cal de Solos Lateríti
cos Visando sua Estabilização - Aplicação a um Solo Lateríti
co de Nova Floresta. Dissertação de Tese. DEC/CCT/UFPB. ,
1983.

LILLI, F.J., Critério de Calidad y Bases La Adquisicion de Cales
Destinadas a La Corrección y Estabilizacion de Suelos, Por
to Alegre, 1976.

MARINHO, R.L., Estudo da Viabilidade Estatística de Ensaio de
Classificação de Solos. Dissertação de Tese M.Sc., apresenta
da ao CCT/UFPB - Campina Grande, 1976.

MEIRELES, J.M.F., Estudo Experimental de Pavimentos com Bases de Laterita. Publicação nº 123, 1970.

MARTIN, F.P. and DOYNE, H.C., Laterite and Lateritic Soil in Sierra Leone - Journal of Agricultura Science. Vol. 20, 1930

MARTIN, Liney B., Localização e Descrição de Várias Jazidas de Solos Lateríticos do Norte e Nordeste do Brasil. Dissertação de Tese M.Sc., CCT/UFPB, 1983.

MINTER (Ministério do Interior/SUDENE) Levantamento Exploratório Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba, Boletim Técnico nº 15 série Edafologia nº 8, Rio de Janeiro - Brasil 1972.

NOVAIS FERREIRA, - O Conceito de Laterita na Engenharia Civil . Luanda, 1963.

ORMSBY, W.C. e KINTER, E.B., Effects of Dolomitic and Calcitic Limes on Strength Development in Mixtures With two Clays Minerals. Public Roods, nº 4, Vol. 37, p. 149-169, 1973.

PINTO, C.S. et al., Estabilização de Solos - Trecho Experimental de Base de Solo Cal - DNER - Rio de Janeiro, 1978.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., A Presença de Componentes Amorfos nos Solos Lateríticos. 18ª Reunião de Pavimentação - Porto Alegre, 1983.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Um Método Simples para Quantificar os Componentes da Fração Tamanho Argila de Solos Lateríticos. Anais do Simpósio de Solos Tropicais em Engenharia - Rio de Janeiro, 1981.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B. e CABRERA, J.G., A Simple Method for the Assessment of Pozzolanic Activity in Red Tropical Soils, Anais da VI Conferência Pan-Americana de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Vol. II, Lima, 1979.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Relações entre os Parâmetros de Engenharia de Solos Vermelhos Tropicais Estabilizados com Cal, Anais da XV Reunião de Pavimentação, Belo Horizonte, setembro, 1980.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Amorphous Materials and Lime Stabilized Soils, Anais do X Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Estocolmo, Suécia, 1981.

QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Avaliação da Reatividade a Cal de Solos Lateríticos. 18^a Reunião de Pavimentação, Porto Alegre, 1983.

SANTANA, H., Seminário Sobre Solos Lateríticos, Pavimento de Baixo Custo e Solos Lateríticos. São Luiz-MA, p. 22-25, 1977.

SANTANA, H., Os Solos Lateríticos e a Pavimentação. Instituto de Pesquisa Rodoviária, Rio de Janeiro, 1976.

SOUZA SANTOS, P., Tecnologia de Argilas. Vol. I. Ed. Edgard
Blucher, Ed. da USP, São Paulo, 1975.

TOWNSEND, F.C., MANKE, G.P. e PARCER, J.V., The Influence of
Sesquioxidos on Lateitic Soil Properties. Highway Research
Record nº 374, p. 80 - 92, 1971.

TAVARES, A.W., Influência Biológica em Solos Lateríticos. Campi
na Grande, 1973.

THOMPSON, M.R., Lime Reactivity of Illinos Soils, journal of
Lime-Soil Mechanics and Foundation Division, 1966.

TERZAGHI, K. e PECK, R.B., Mecânica dos Solos na Prática de En
genharia. Ao Livro Técnico S.A., Rio de Janeiro, 1962.

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL
Development Laterite and Lateritic Soil and Other Problem
Soils of Africa. Report prepared by Lyom Associets, Inc. and
Road Research Institute Ghana. U.S.A.I.D., 1971.

VARGAS, M., Introdução a Mecânica dos Solos, Ed. Mc-Graw Hill
do Brasil. Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.

WINTERKORN, H.F. e CHANDRASEKHARAN, E.C., Laterite Soils and
their Stabilization. Highway Research Bard, Bull 44 . p. 10-
29, 1951.

TABELAS E FIGURAS
DO CAPÍTULO VI

SOLOS	RCS (1) KPa	RCS (2) KPa		RCS (2) - RCS (1) KPa		TEOR DE CAL (%)	TEMPO DE CURA (DIA)
		N	V	N	V		
TEPB	190	961	337	771	147	9	56
NFPB	97	557	447	460	350		
JPPB	140	814	277	674	137		

TABELA 6.1 - Resistência à Compressão Simples para o Máximo Teor das Cais e Tempo de Cura. -

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 832 Tel. (031) 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

SOLO	NFPB	JPPB	TEPB
PROCEDÊNCIA	NOVA FLORESTA	JOÃO PESSOA	TEIXEIRA
Limite de Liquidez (%)	30,4	36,6	38,6
Limite de Plasticidade (%)	21,6	24,0	25,0
Índice de Plasticidade (%)	8,8	12,6	13,6
Massa Específica Real (g/cm ³)	2,8138	2,5514	2,6317
Umidade Ótima (%)	17,6	20,0	20,0
Densidade Seco Máxima do Proctor Normal (kg/m ³)	1745	1630	1652

TABELA 6.2 - Propriedades Características e de Engenharia dos Solos pesquisados.

COMPONENTES	CAIS	
	N	V
Perda de fogo (1000°C) (%)	23,62	35,88
SiO ₂ (óxido de silício) (%)	3,05	3,82
CaO (óxido de cálcio) (%)	64,50	48,29
MgO (óxido de magnésio) (%)	5,23	7,51
Na ₂ O (óxido de sódio) (%)	0,27	0,19
K ₂ O (óxido de potássio) (%)	0,19	0,05
Total	97,20	95,74

TABELA 6.3 - Propriedades Químicas das Cais Utilizadas na pesquisa.

80

PENEIRAS	FINURA DAS CAIS (%)	
	N	V
30	2,4	7,1
200	9,0	42

TABELA 6.4 - Valores dos Percentuais das Cais nas Peneiras 30 e 200.

QUALIDADE DA CAL	UMIDADE (%)	CURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES COM TEORES DA CAL (KPa)			
			0%	3%	6%	9%
V	20,0	7	197	189	186	184
		14	163	157	171	194
		28	176	177	181	308
		56	190	187	226	326
V	21,5	7	112	132	134	140
		14	128	155	160	173
		28	134	165	168	327
		56	162	178	179	337
V	23,0	7	ND	66	62	74
		14	ND	77	79	96
		28	ND	91	93	167
		56	ND	124	176	186
N	20,0	7	197	307	315	387
		14	163	381	539	509
		28	176	395	676	782
		56	190	420	714	900
N	21,5	7	112	152	303	406
		14	128	250	401	595
		28	134	284	489	789
		56	162	306	745	961
N	23,0	7	ND	225	350	370
		14	ND	301	474	483
		28	ND	305	608	799
		56	ND	323	748	909

TABELA 6.5 - Resistência à Compressão Simples de Corpos de Prova Moldados com Diversos Teores da Cal, com Diferentes Teores de Umidade e Curados em Câmara Úmida para o Solo TEPB.

Obs: ND - Dado não determinado.

QUALIDADE DA CAL	UMIDADE (%)	CURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES COM TEORES DA CAL (KPa)			
			0%	3%	6%	9%
V	17,6	7	51	107	126	162
		14	74	217	224	244
		28	91	238	243	252
		56	97	247	433	447
V	19,0	7	52	78	57	122
		14	52	120	177	186
		28	58	151	186	204
		56	74	163	211	236
V	20,4	7	ND	53	111	119
		14	ND	85	157	186
		28	ND	91	166	191
		56	ND	94	170	206
N	17,6	7	51	202	215	263
		14	74	339	373	480
		28	91	357	437	511
		56	97	414	480	557
N	19,0	7	52	170	209	243
		14	52	280	346	372
		28	58	297	397	420
		56	74	322	420	487
N	20,4	7	ND	163	203	240
		14	ND	249	335	349
		28	ND	257	351	375
		56	ND	280	364	400

TABELA 6.6 - Resistência à Compressão Simples de Corpos de Prova Moldados com Diversos Teores da Cal, com Diferentes Teores de Umidade e Curados em Câmara Úmida para o Solo NFPB.

Obs: ND - Dado não determinado.

QUALIDADE DA CAL	UMIDADE (%)	CURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES COM OS TEORES DA CAL (KPa)			
			0%	3%	6%	9%
V	20,0	7	100	145	241	208
		14	111	126	218	252
		28	112	128	243	269
		56	140	146	245	277
V	21,5	7	80	100	127	210
		14	89	119	143	171
		28	92	120	177	203
		56	111	140	204	223
V	23,0	7	ND	70	80	100
		14	ND	78	83	95
		28	ND	81	96	119
		56	ND	97	104	120
N	20,0	7	100	392	405	448
		14	111	454	519	552
		28	112	553	639	694
		56	140	560	728	814
N	21,5	7	80	427	437	439
		14	89	443	454	504
		28	92	460	551	564
		56	111	554	700	756
N	23,0	7	ND	349	400	415
		14	ND	397	440	447
		28	ND	426	547	560
		56	ND	500	647	700

TABELA 6.7 - Resistência à Compressão Simples de Corpos de Prova Moldados com Diversos Teores da Cal, com Diferentes Teores de Umidade e Curados em Câmara Úmida para o Solo JPPB.

Obs: ND - Dado não determinado.

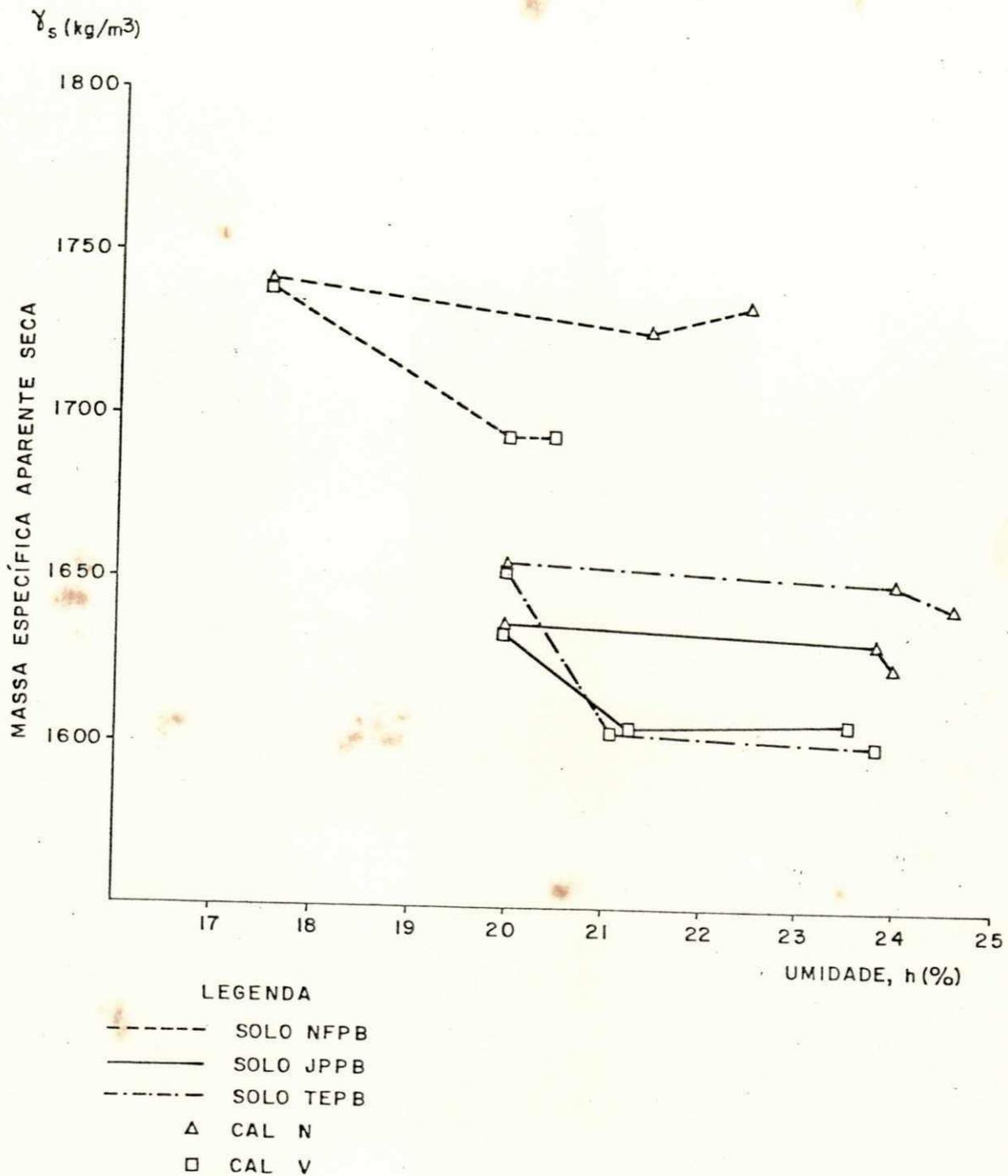


Figura 6.3 - Relação entre a Massa Específica Aparente Seca e a Umidade de Compactação, para o Solo Natural e o Solo com 6% e 9% da Cal N e V.

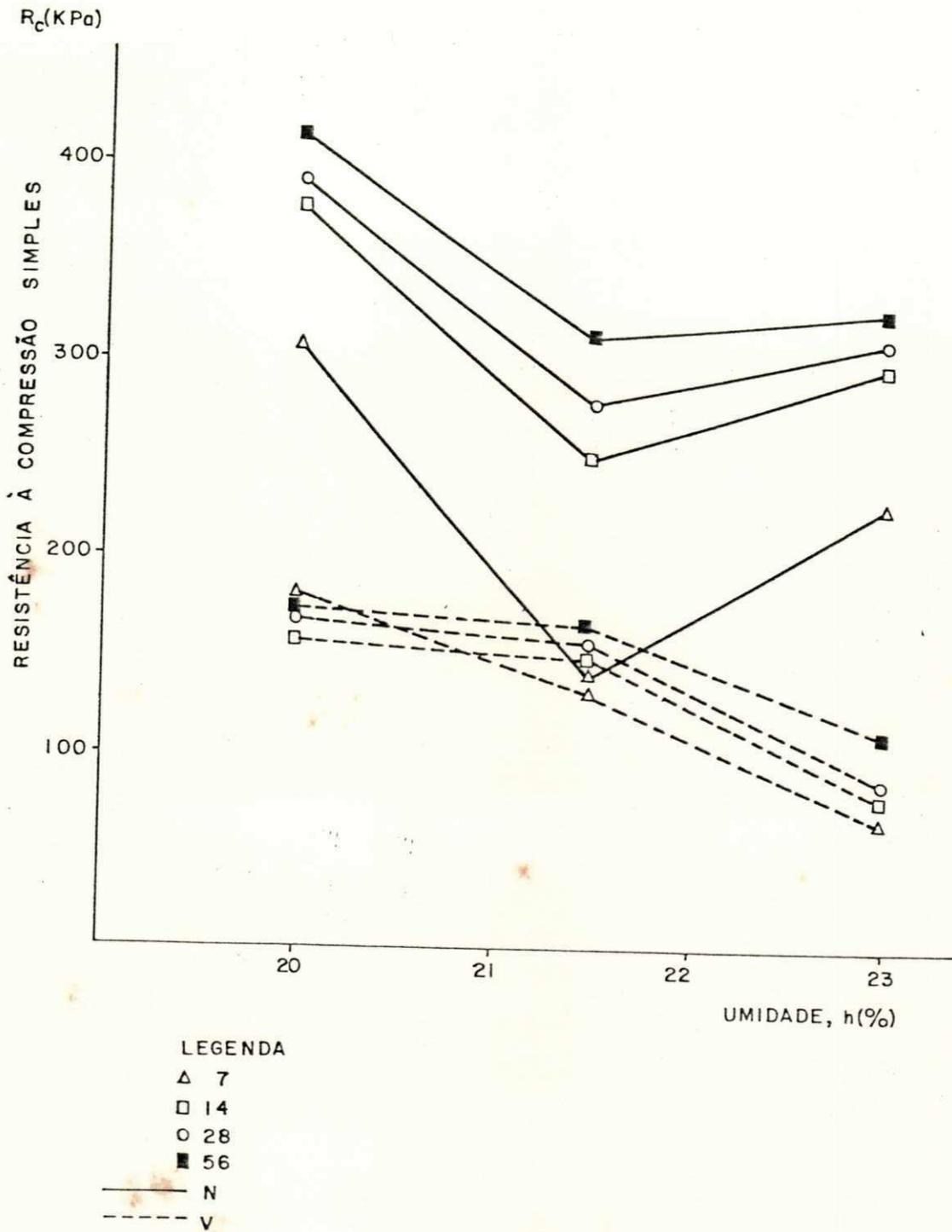


Figura 6.4 - Relação entre as Umidades de Moldagem com a Resistência, para Percentuais de 3% Variando de 7 a 56 dias para o Solo de TEPB.

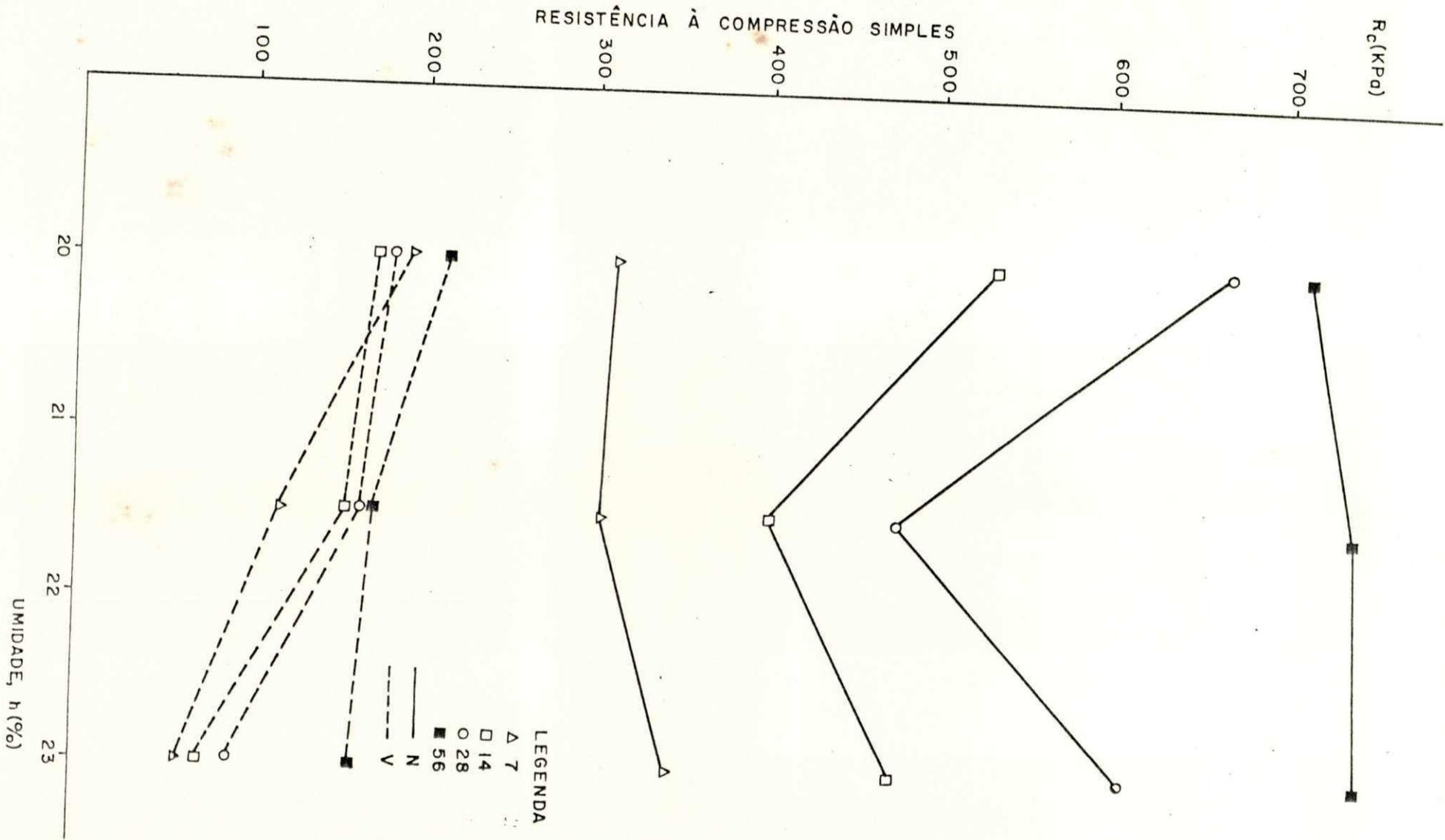


Figura 6.4.a - Relação entre as Umidades de Moldagem com a Resistência para Percentuais de 6%, Variando de 7 a 56 dias para o Solo de TEPB.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
Coordenação Setorial de Pós-Graduação
Rua Aprigio Veloso, 882 Tel (083) 321 7222-R 355
58.100 - Campina Grande - Paraíba

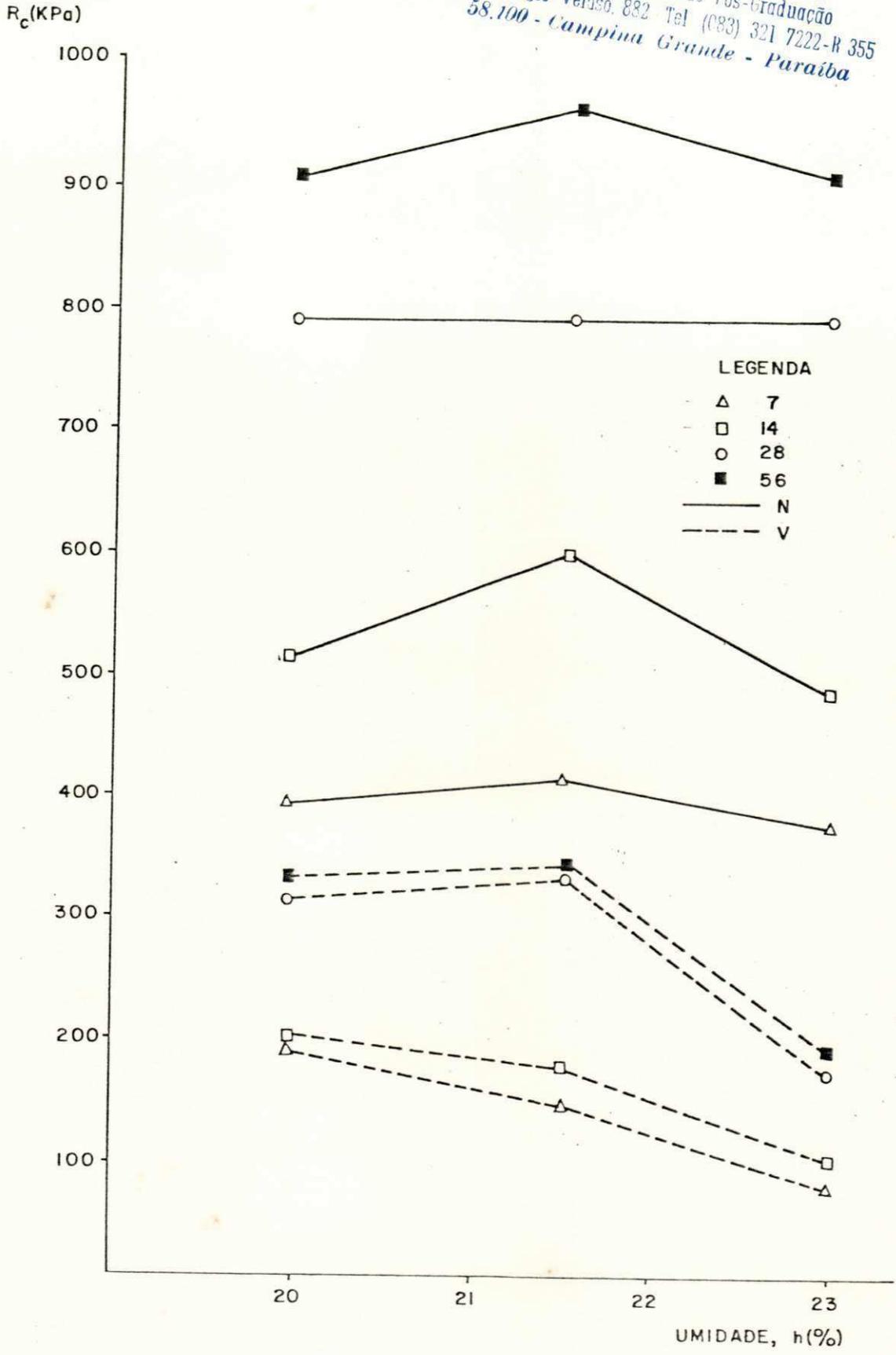


Figura 6.4.b - Relação entre as Umidades de Moldagem com a Resistência para Percentuais de 9% Variando de 7 a 56 dias para o Solo de TEPB.

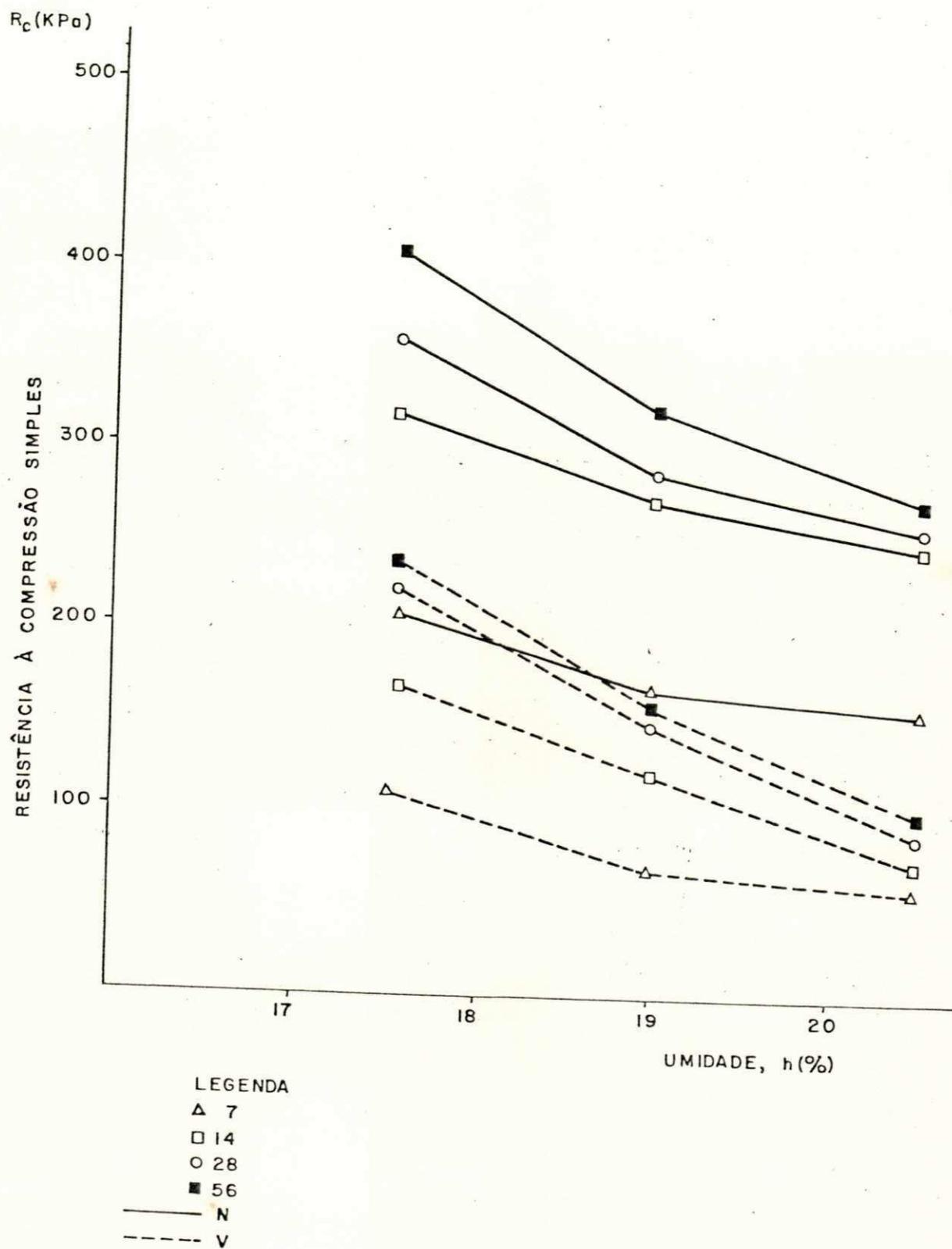


Figura - 6.5 - Relação entre as Umidades de Moldagem com a Resistência, para percentuais de 7 a 56 dias para o Solo de NFPB.

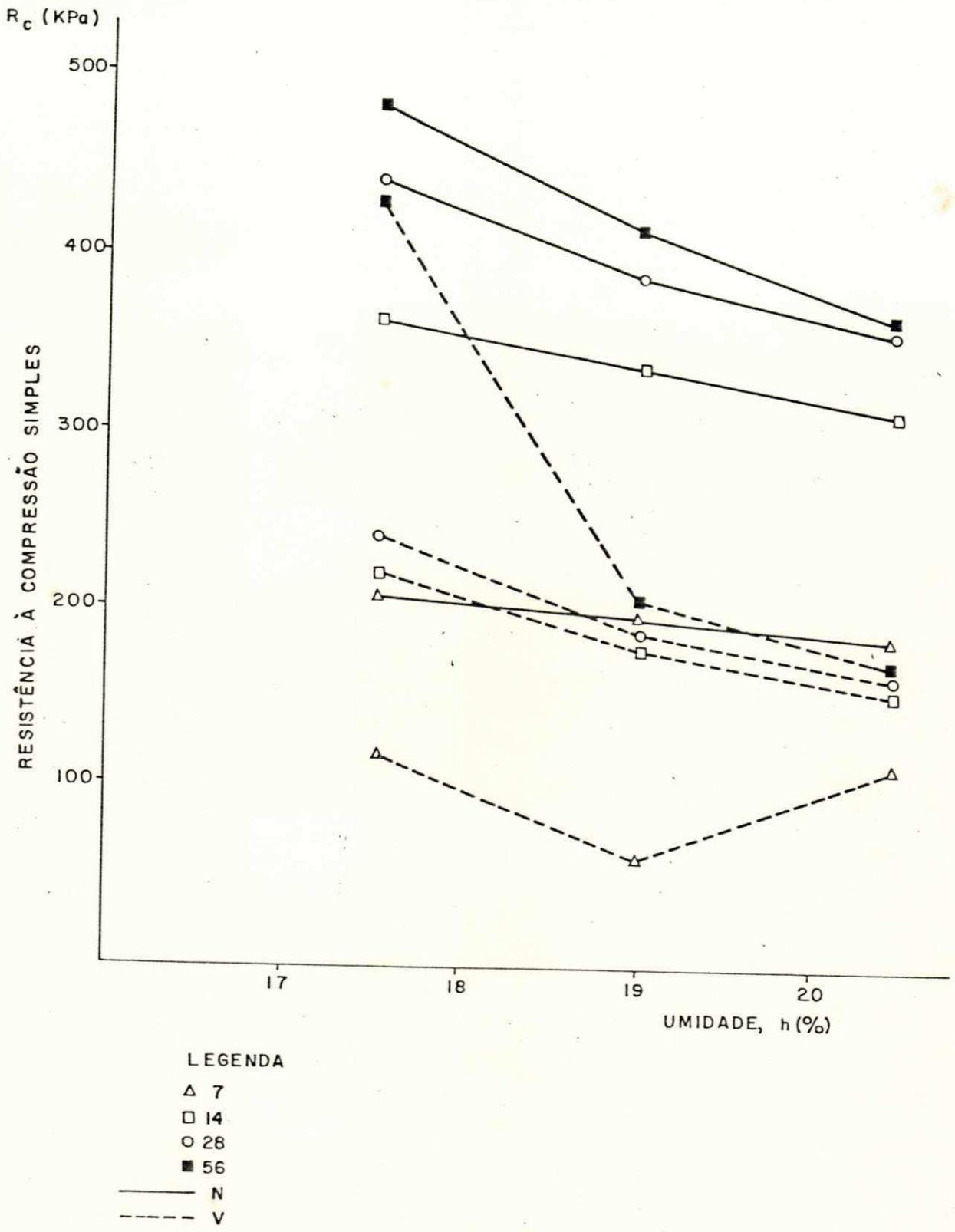
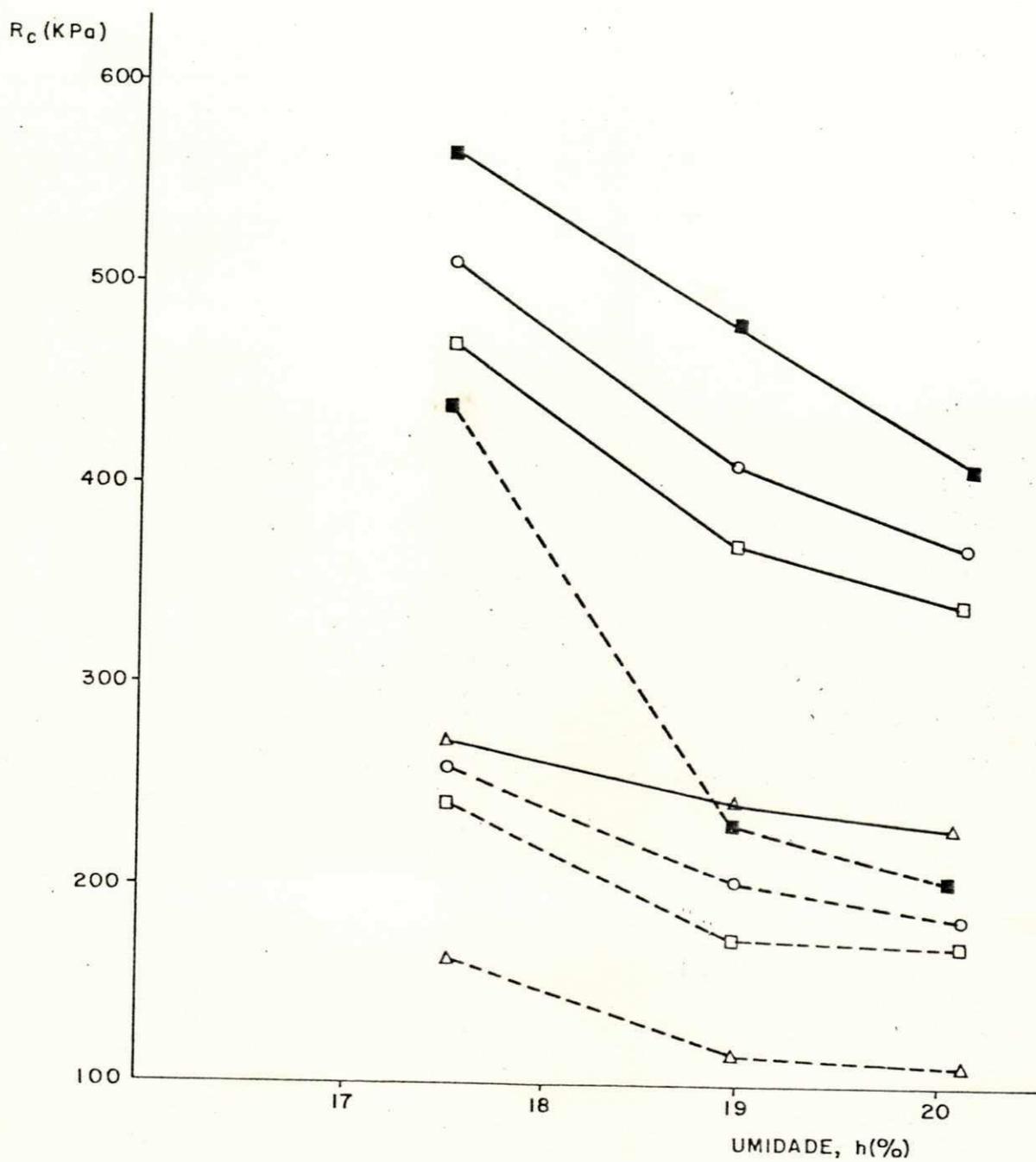


Figura 6.5.a - Relação entre as Umidades de Moldagem com a Resistência para Percentuais de 6%, Variando de 7 a 56 dias para o Solo de NFPB.



LEGENDA
 Δ 7
 □ 14
 ○ 28
 ■ 56
 — N
 - - - V

Figura 6.5.b - Relação entre as Umidades de Moldagem com a Resistência para Percentuais de 9%, Variando de 7 a 56 dias para o Solo de NFPB.

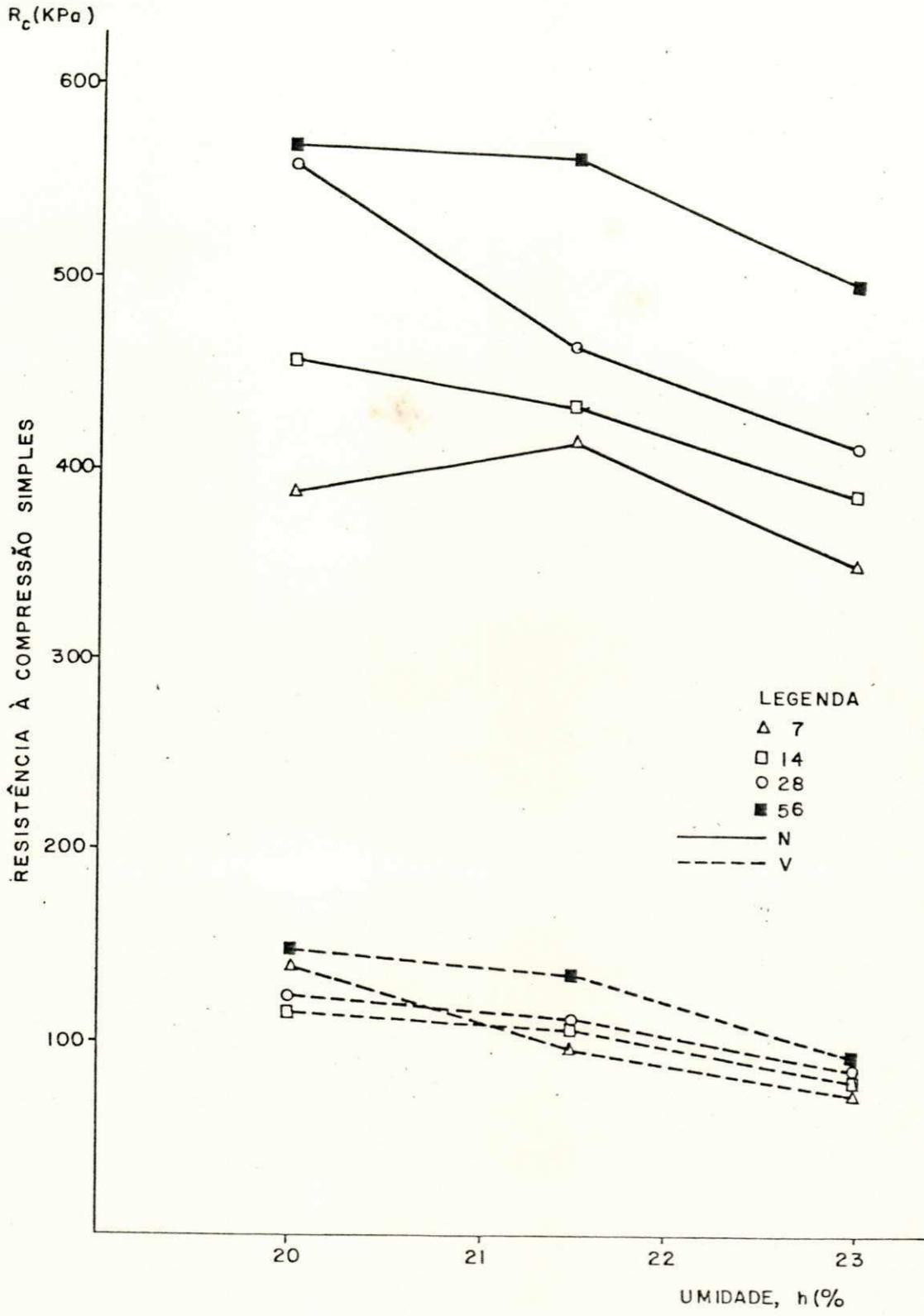


Figura 6.6 - Relação entre as Umidades de Moldagem com a Resistência para Percentuais de 3%, Variando de 7 a 56 dias para o Solo de JPPB.

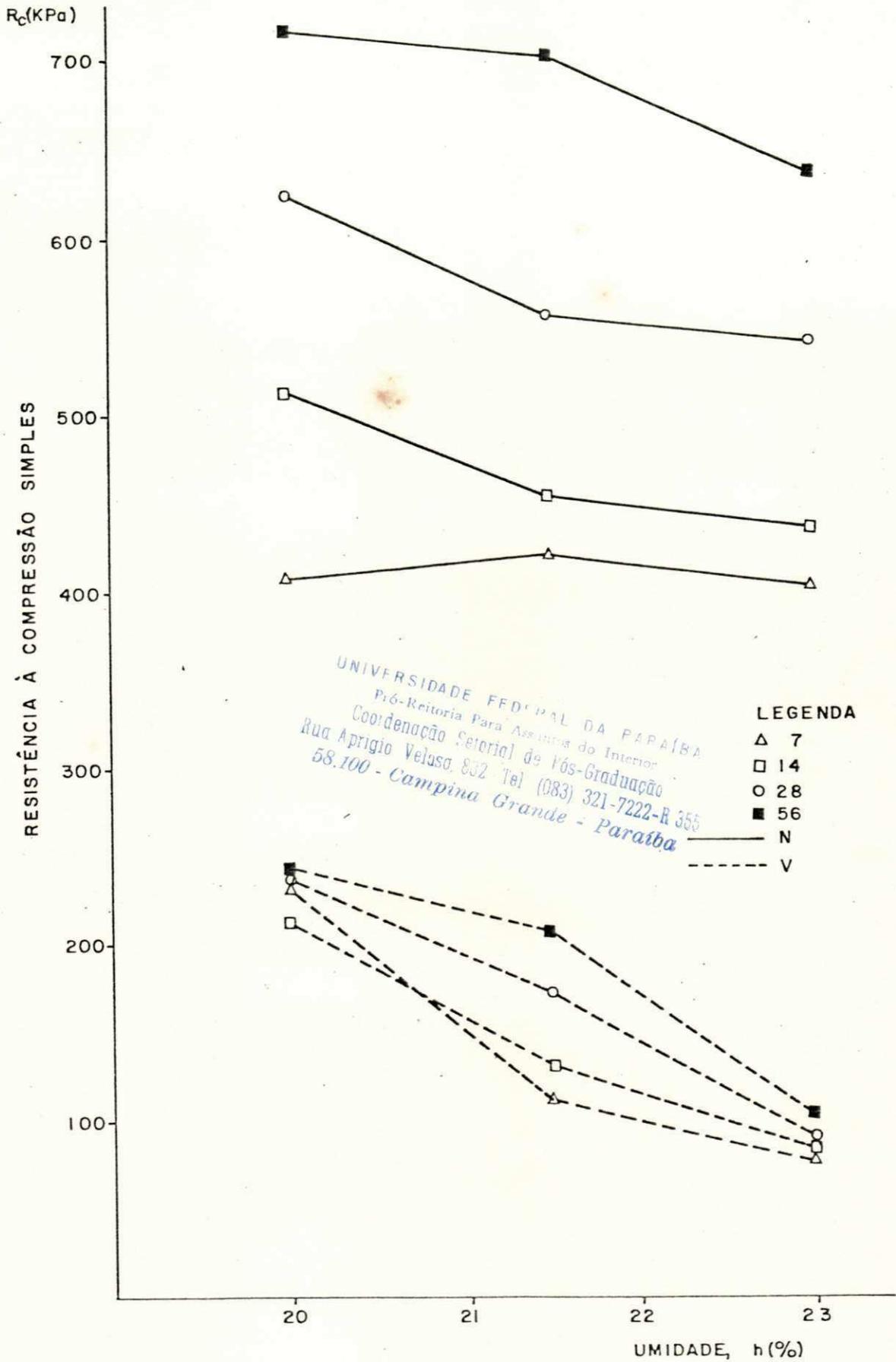


Figura 6.6.a - Relação entre as Unidades de Moldagem com a Resistência para Percentuais de 6%, Variando de 7 a 56 dias para o Solo de JPPB.

R_c(KPa)

95

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

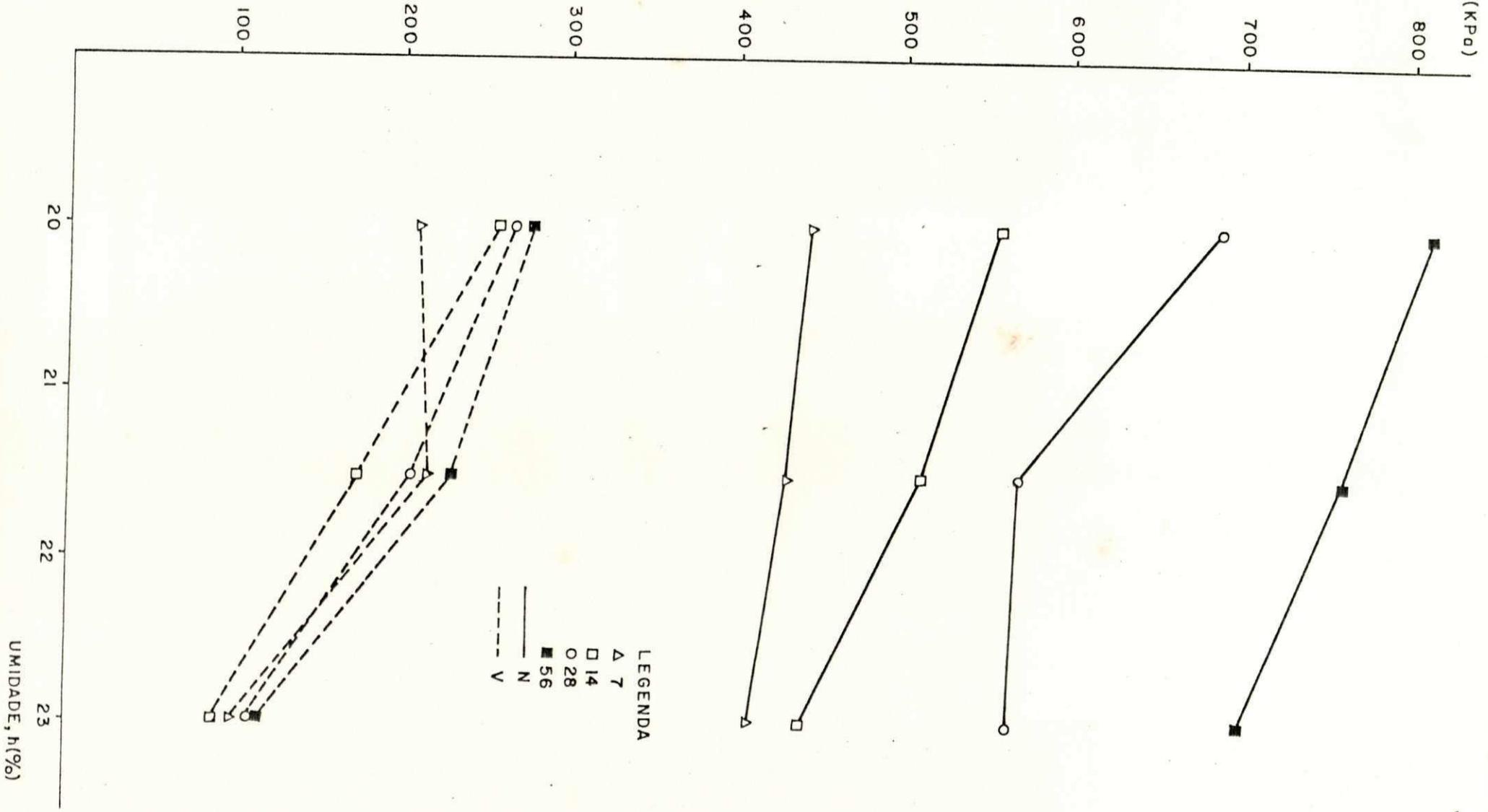


Figura 6.6.b - Relação entre as Unidades de Moldagem com a Resis

Variação de 08 Variando de 7 a 12

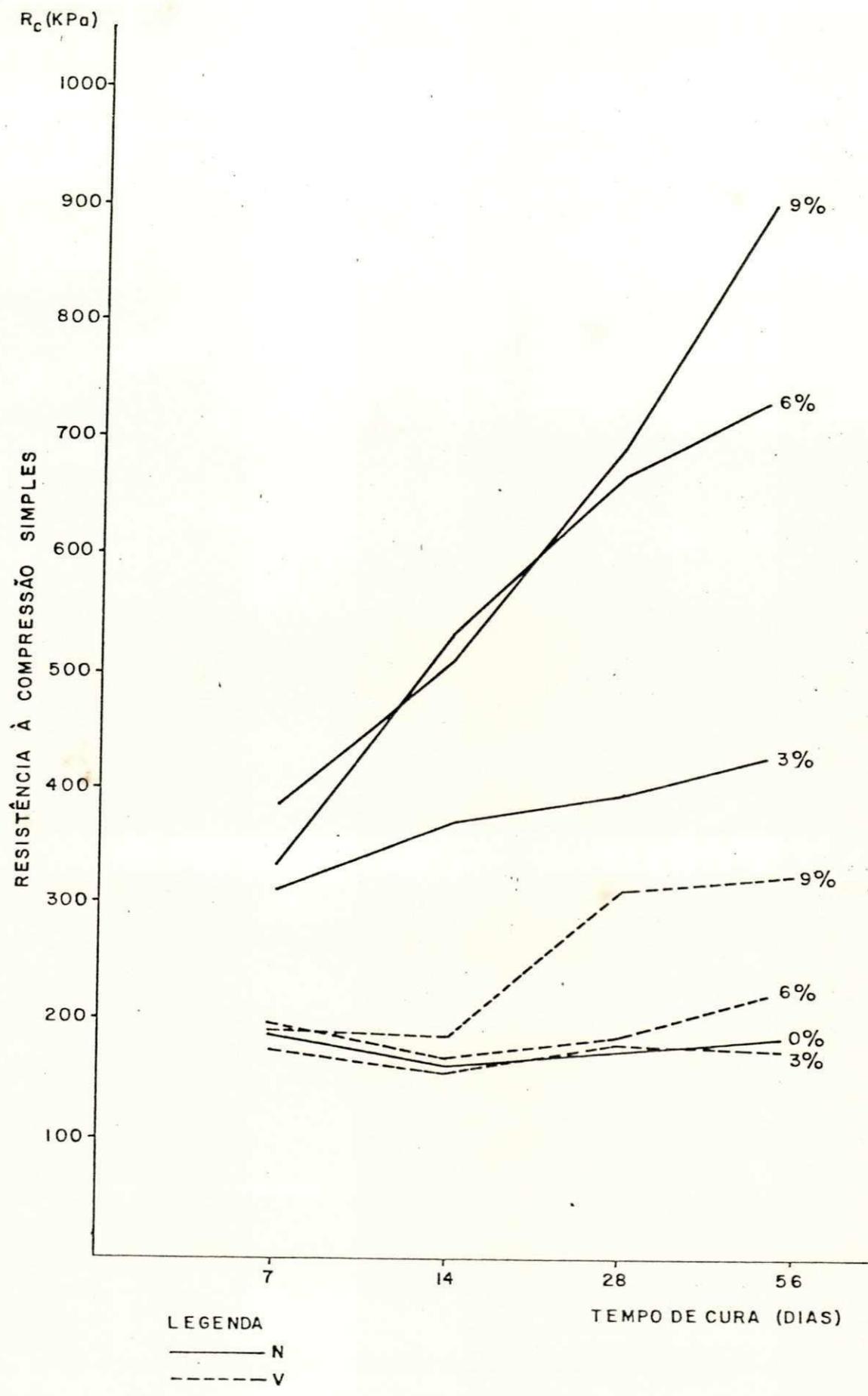


Figura 6.7 - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 20% com Cal N e V para o Solo de TEPB

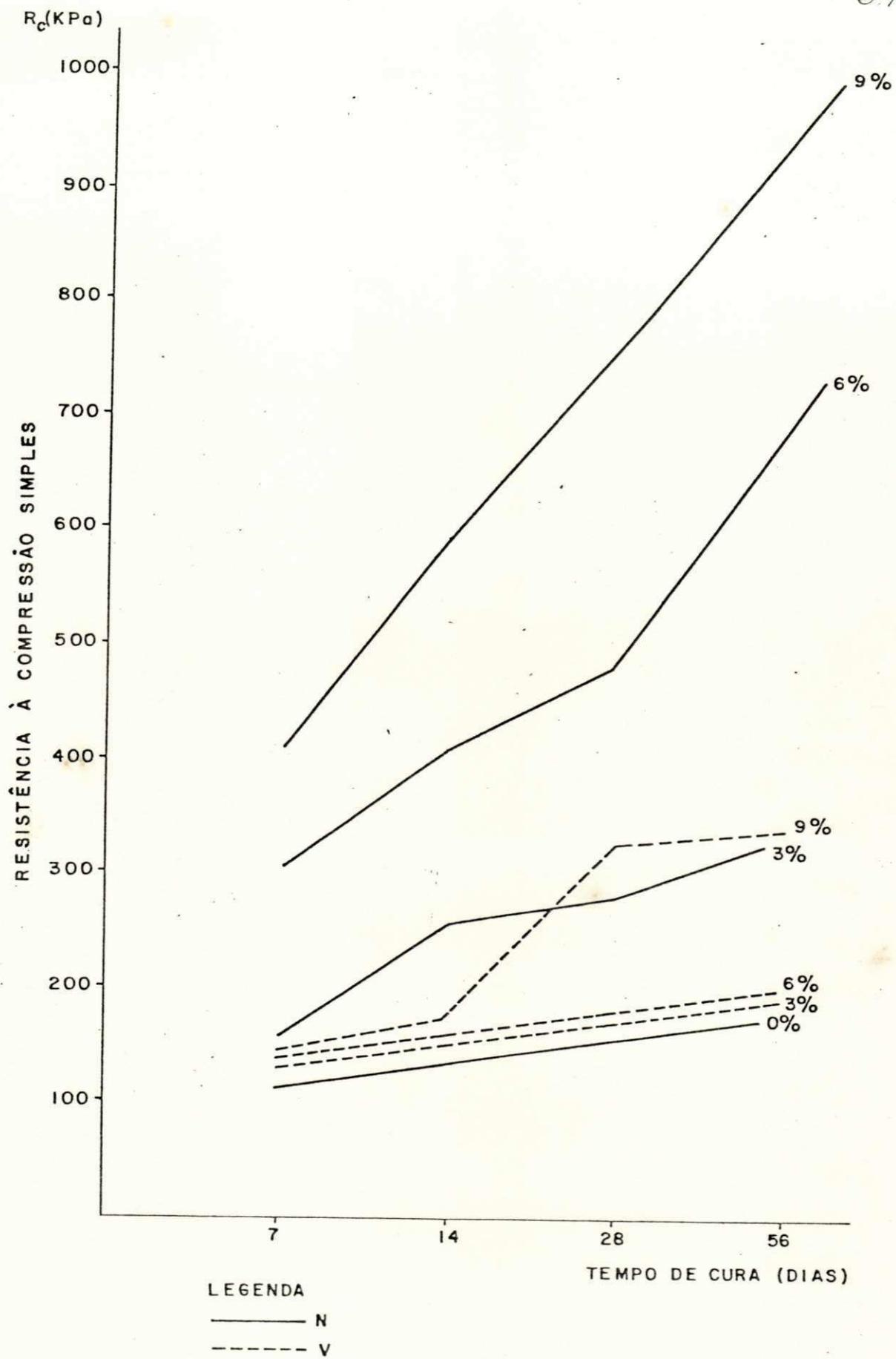


Figura 6.7.a - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 21,5% com Cal N e V para o Solo de TEPB

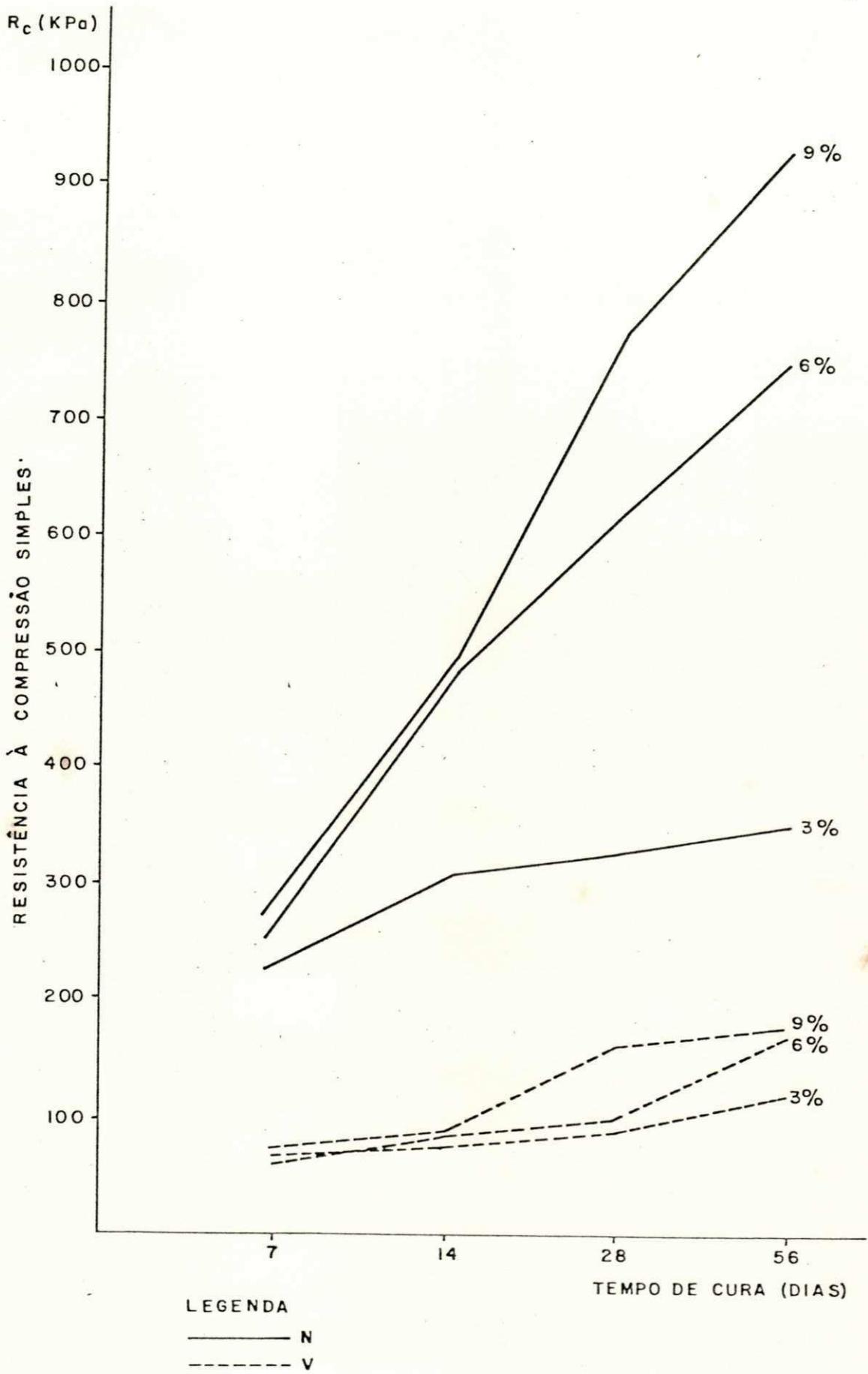


Figura 6.7.b - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 23% com Cal N e V para o Solo de TEPB

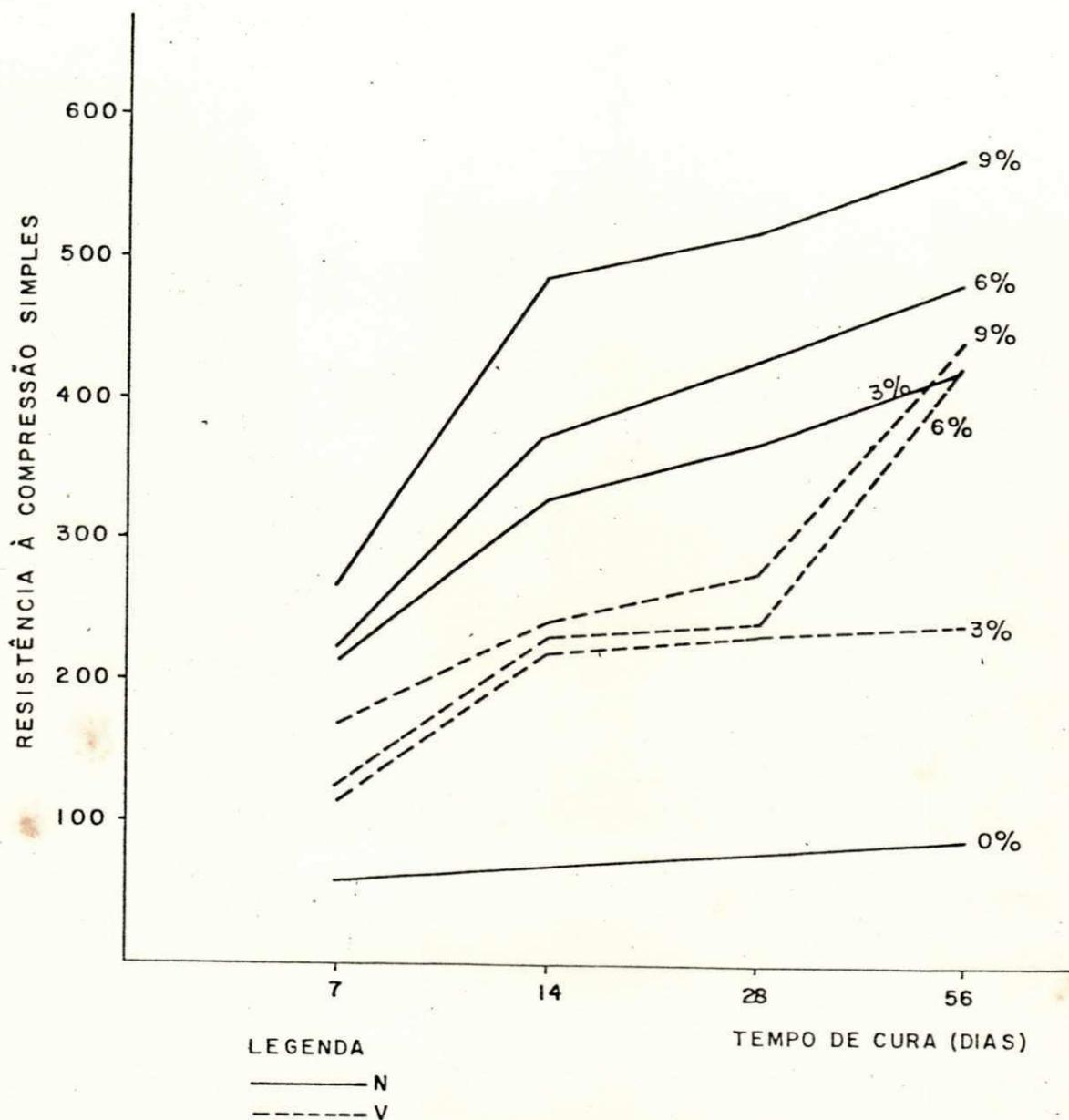


Figura 6.8 - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 17,6% com Cal V e N para o Solo de NFPB

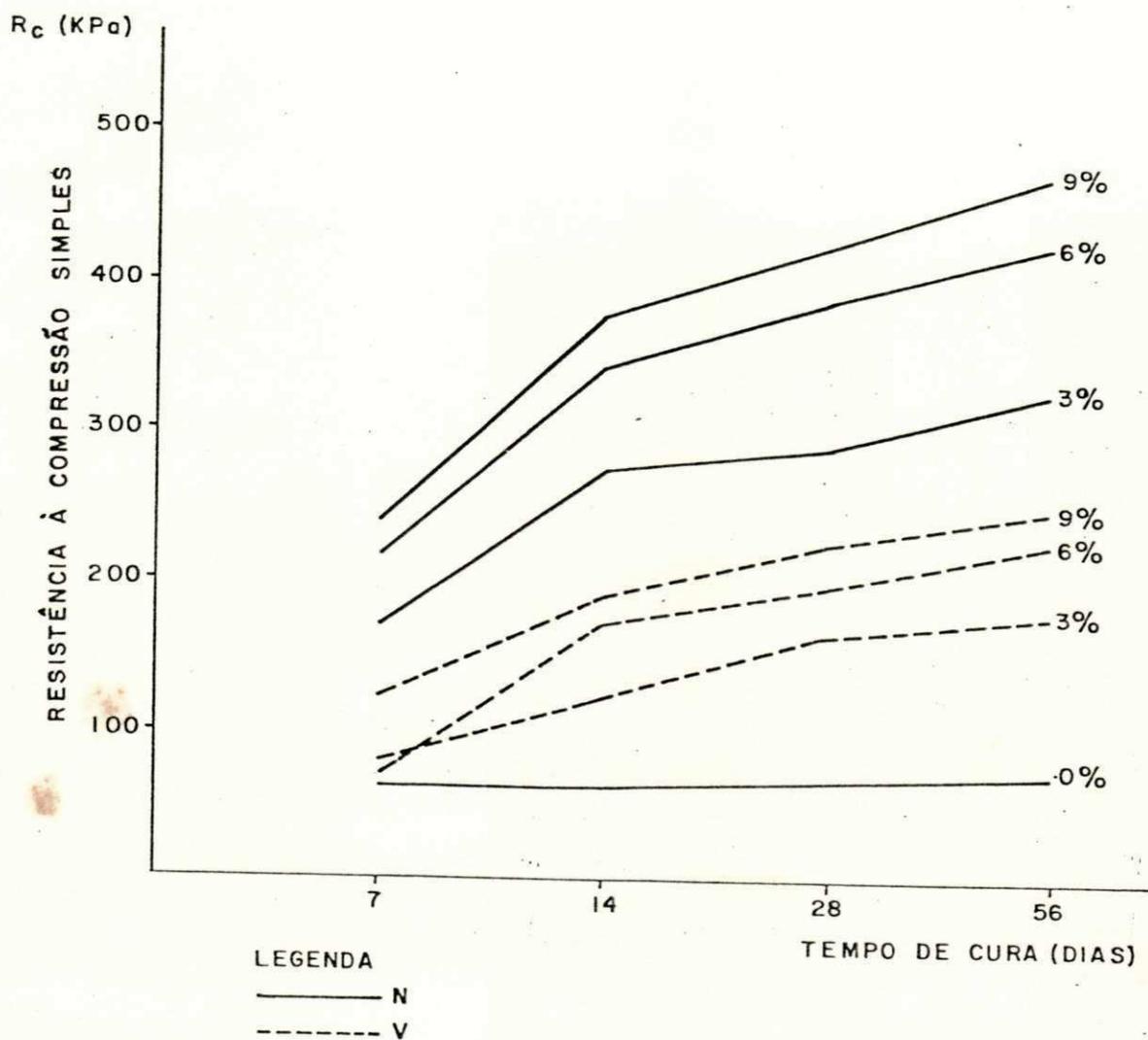


Figura 6.8.a - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 19% com Cal N e V para o Solo de NFPB

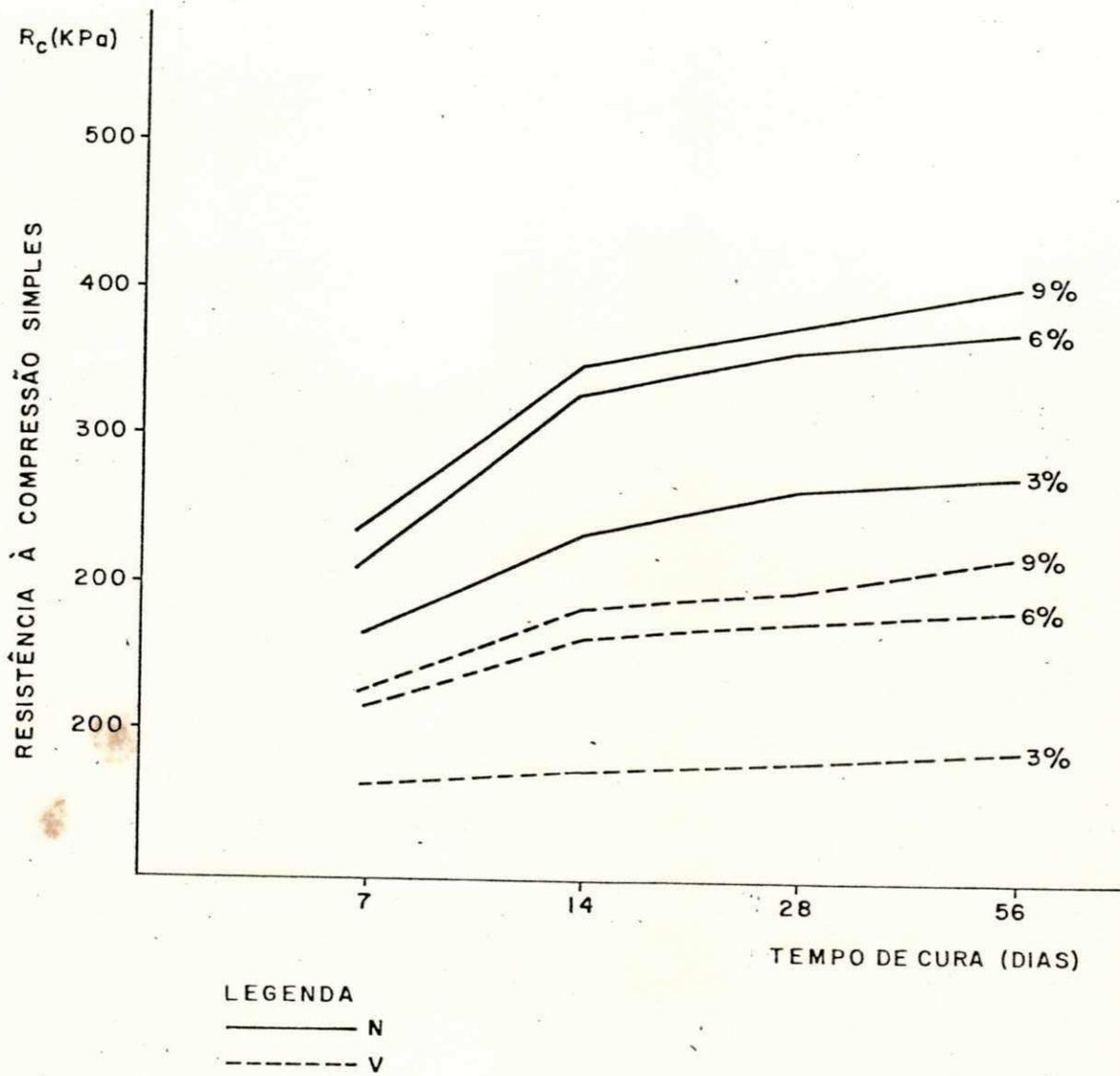


Figura 6.8.b - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 20,4% com Cal N e V para o Solo de NFPB

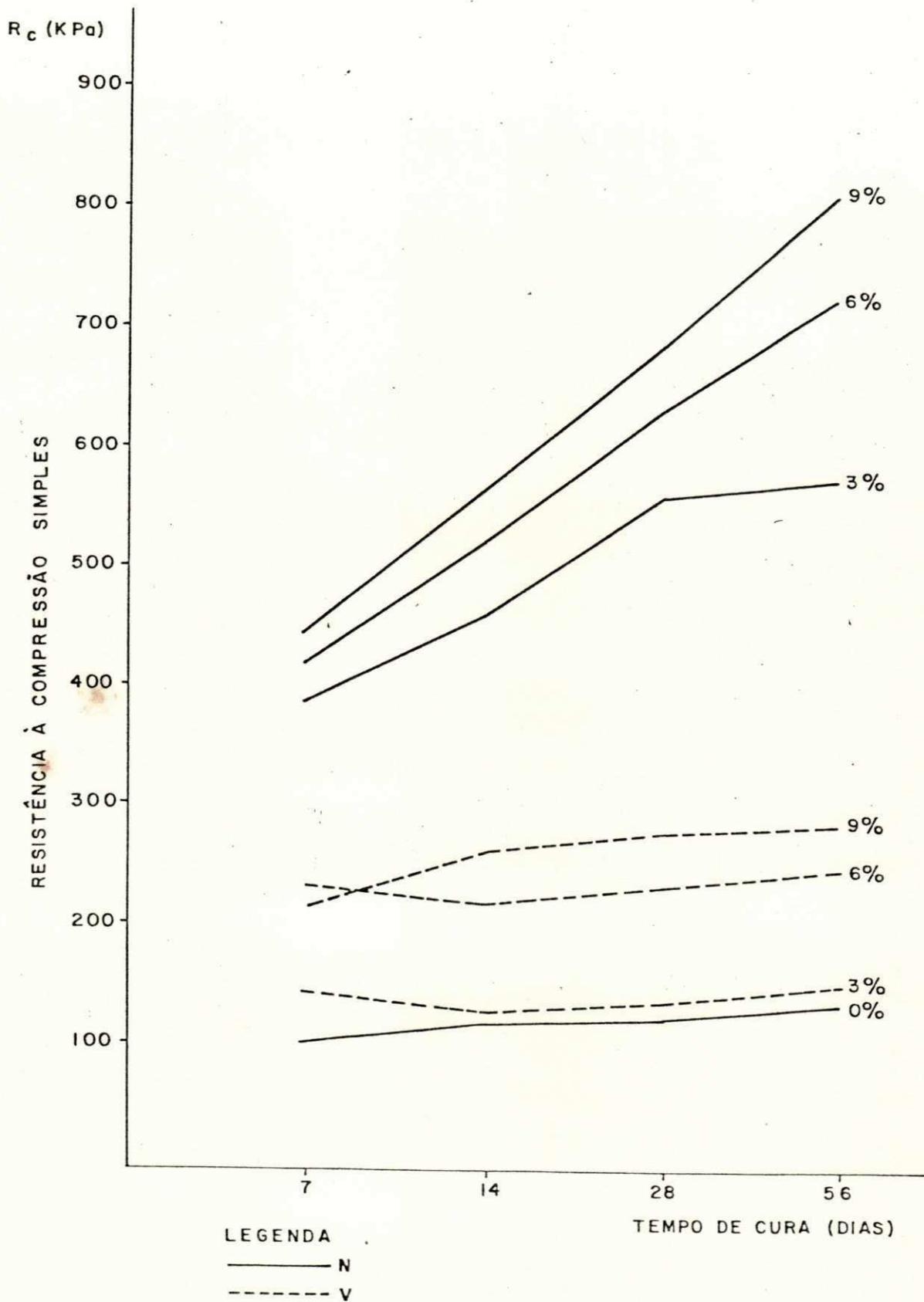


Figura 6.9 - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 20% com cal N e V para o Solo de JPPB.

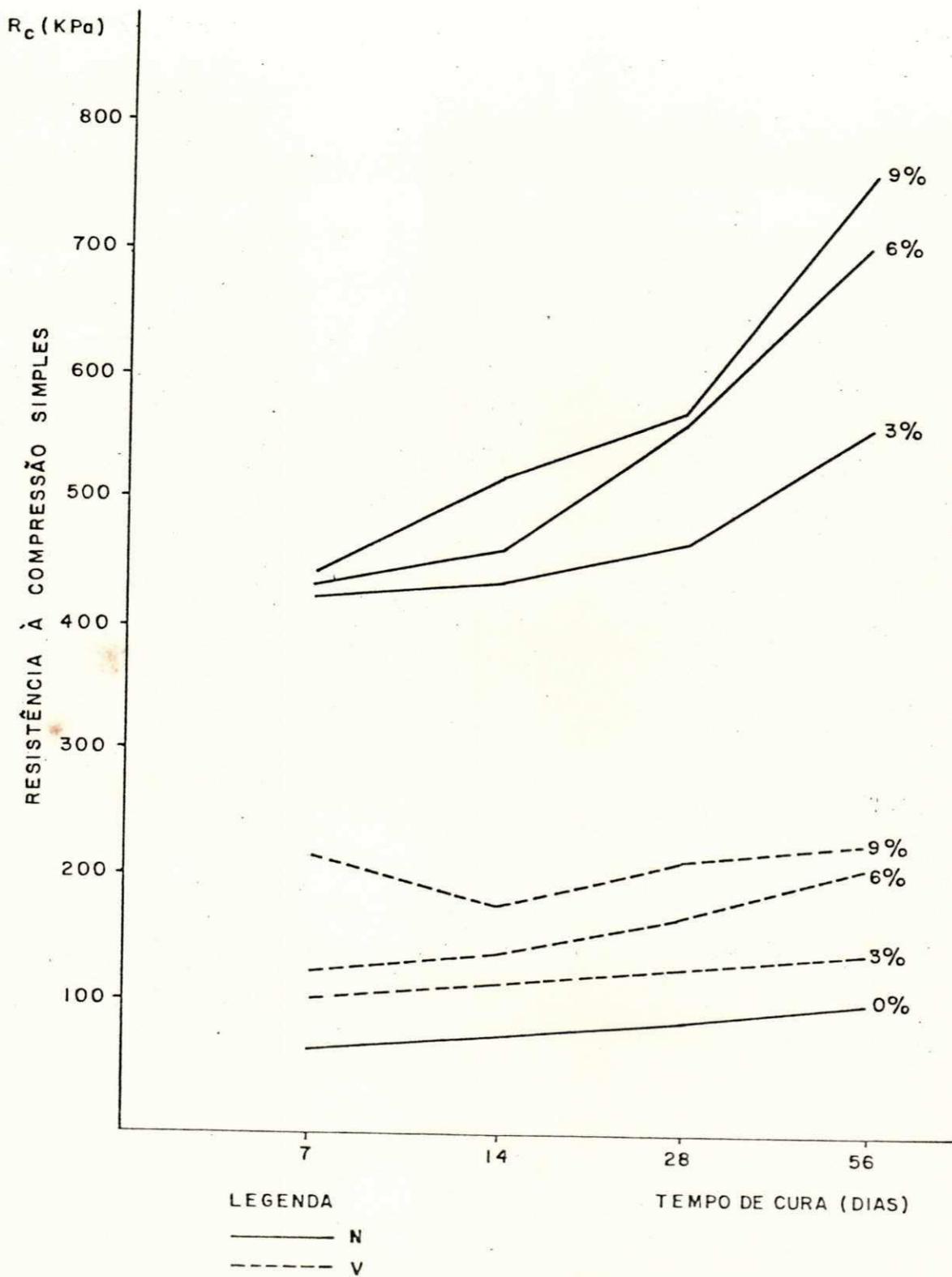


Figura 6.9.a - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 21,5% com Cal N e V para o Solo de JPPB

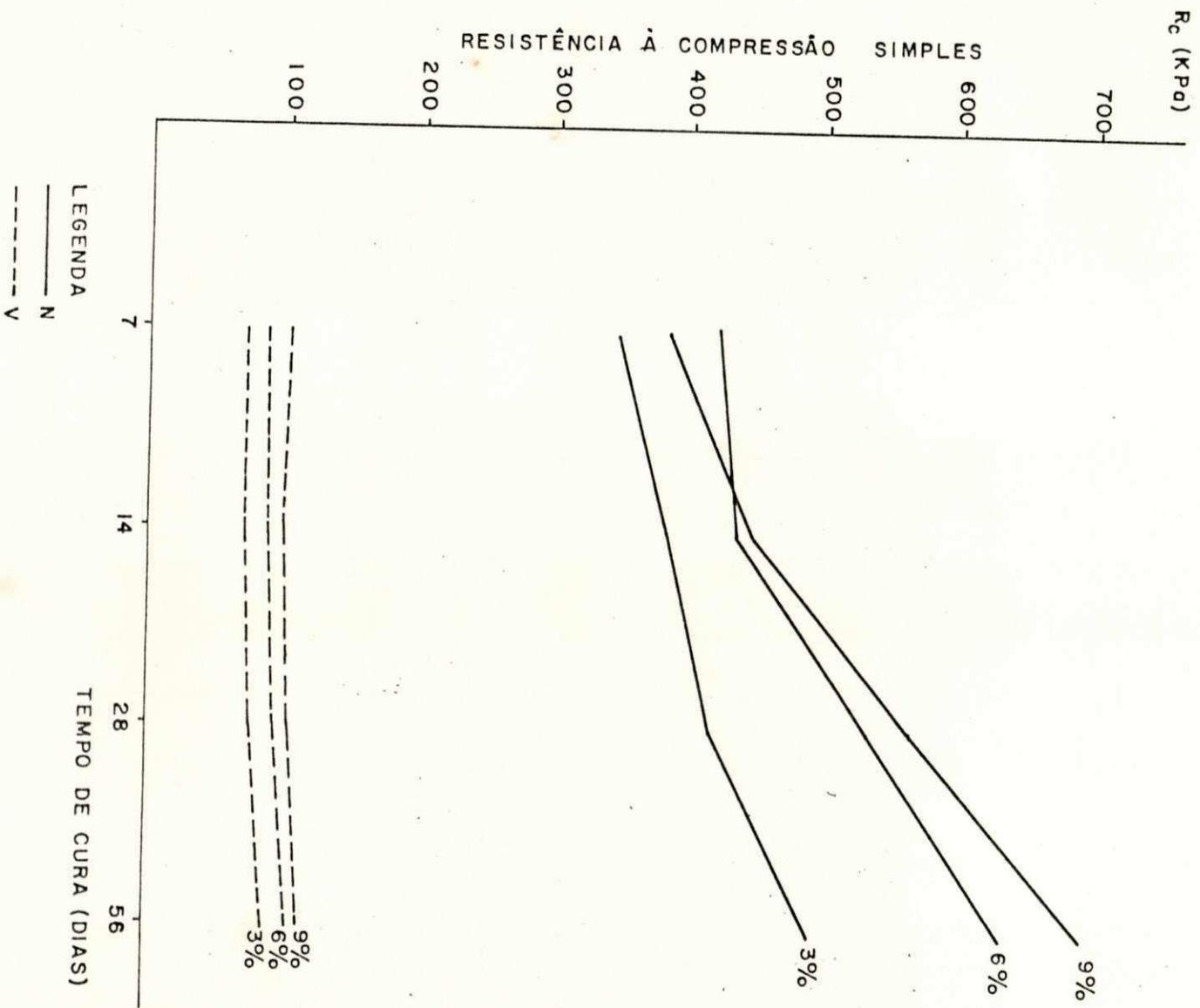


Figura 6.9.b - Relação entre a Resistência com os dias de Cura para hot. 23% com Cal N e V para o Solo de JPPB.

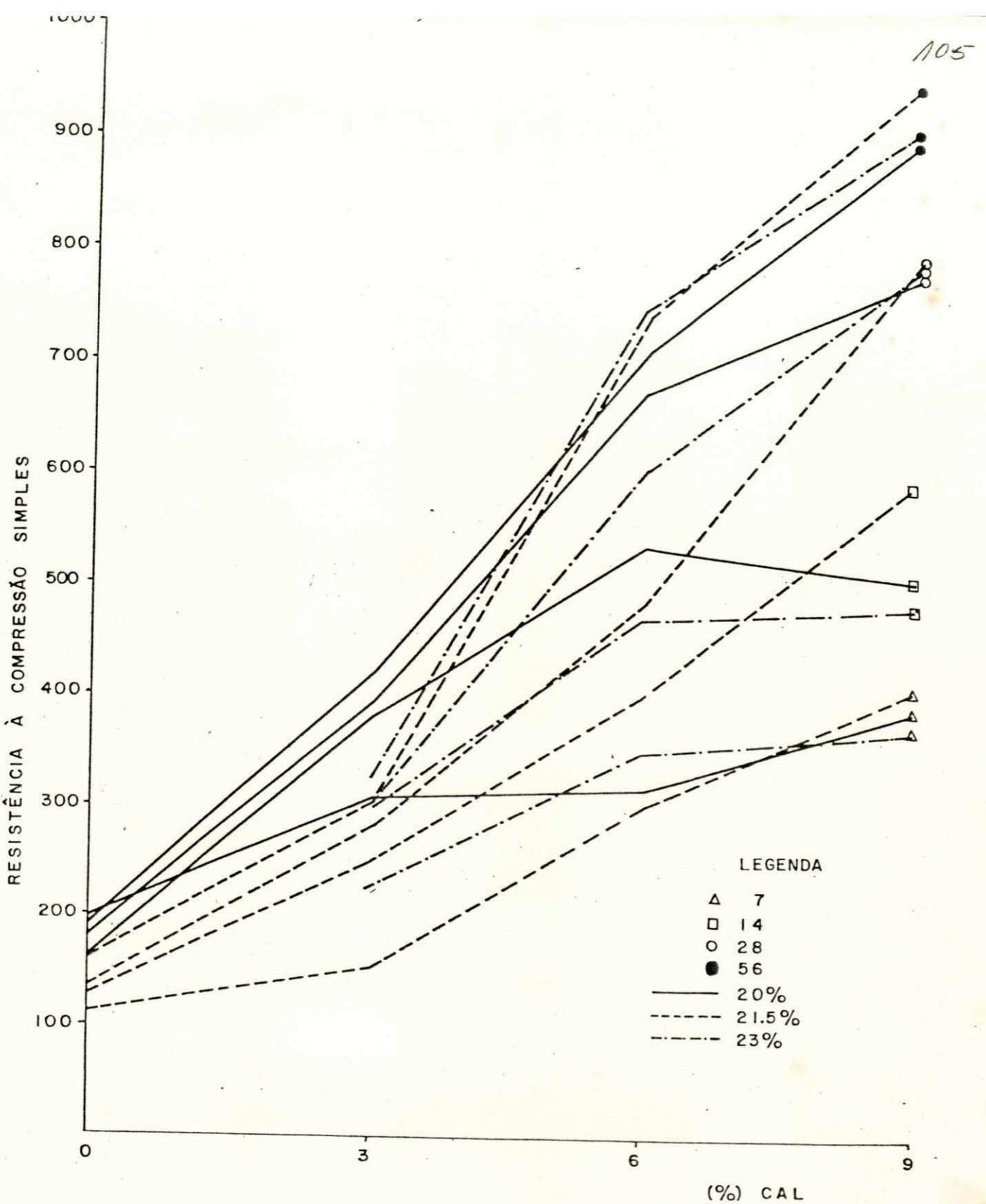


Figura 6.10 - Relação entre a Resistência com o Percentual da Cal N, para as Diferentes Unidades de Moldagem nos Períodos de 7, 14, 28 e 56 dias para o Solo de TEPB.

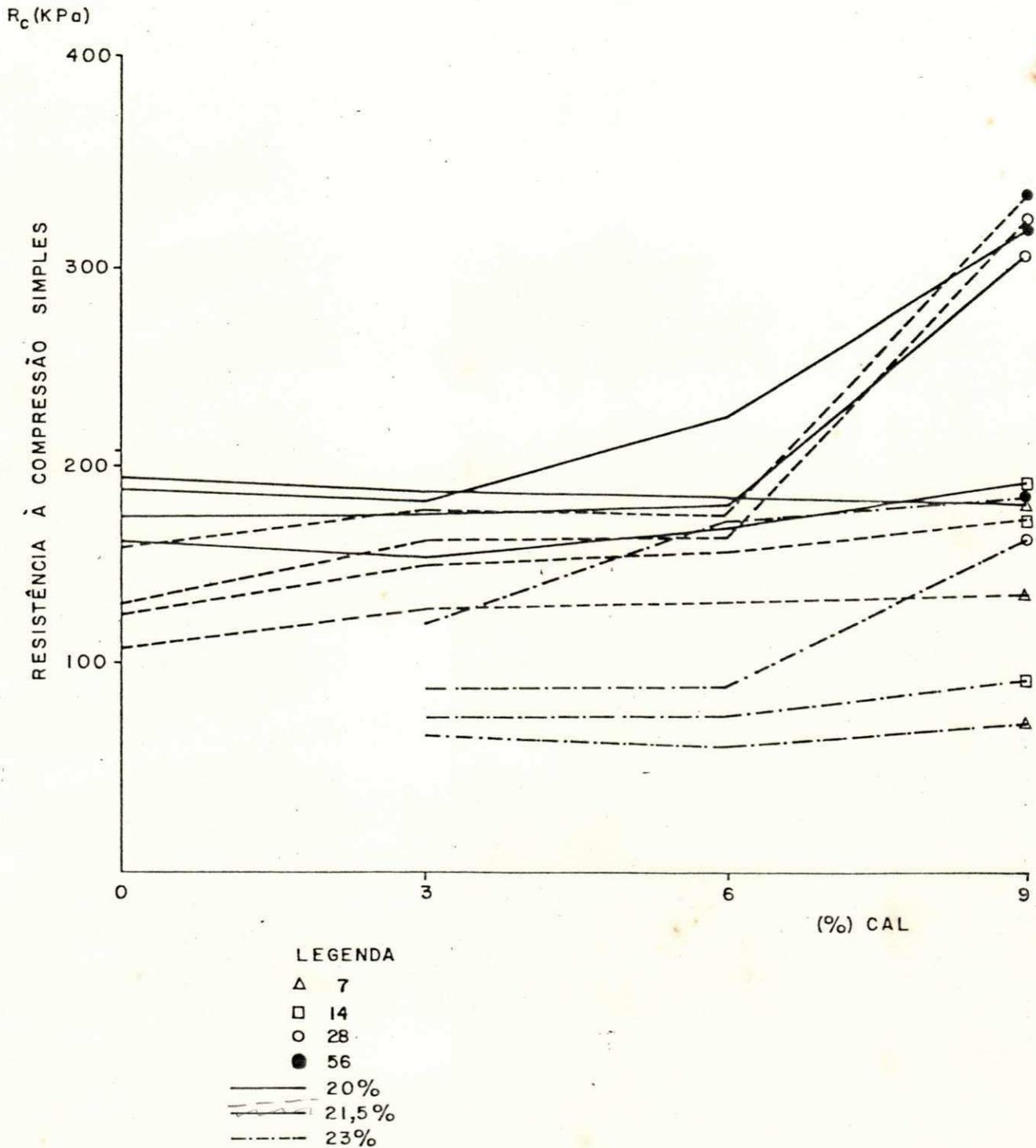


Figura 6.10.a - Relação entre a Resistência com o Percentual da Cal V, para as Diferentes Umidades de Moldagem nos Pe ríodos de 7, 14, 28 e 56 dias para o Solo de TEPB.

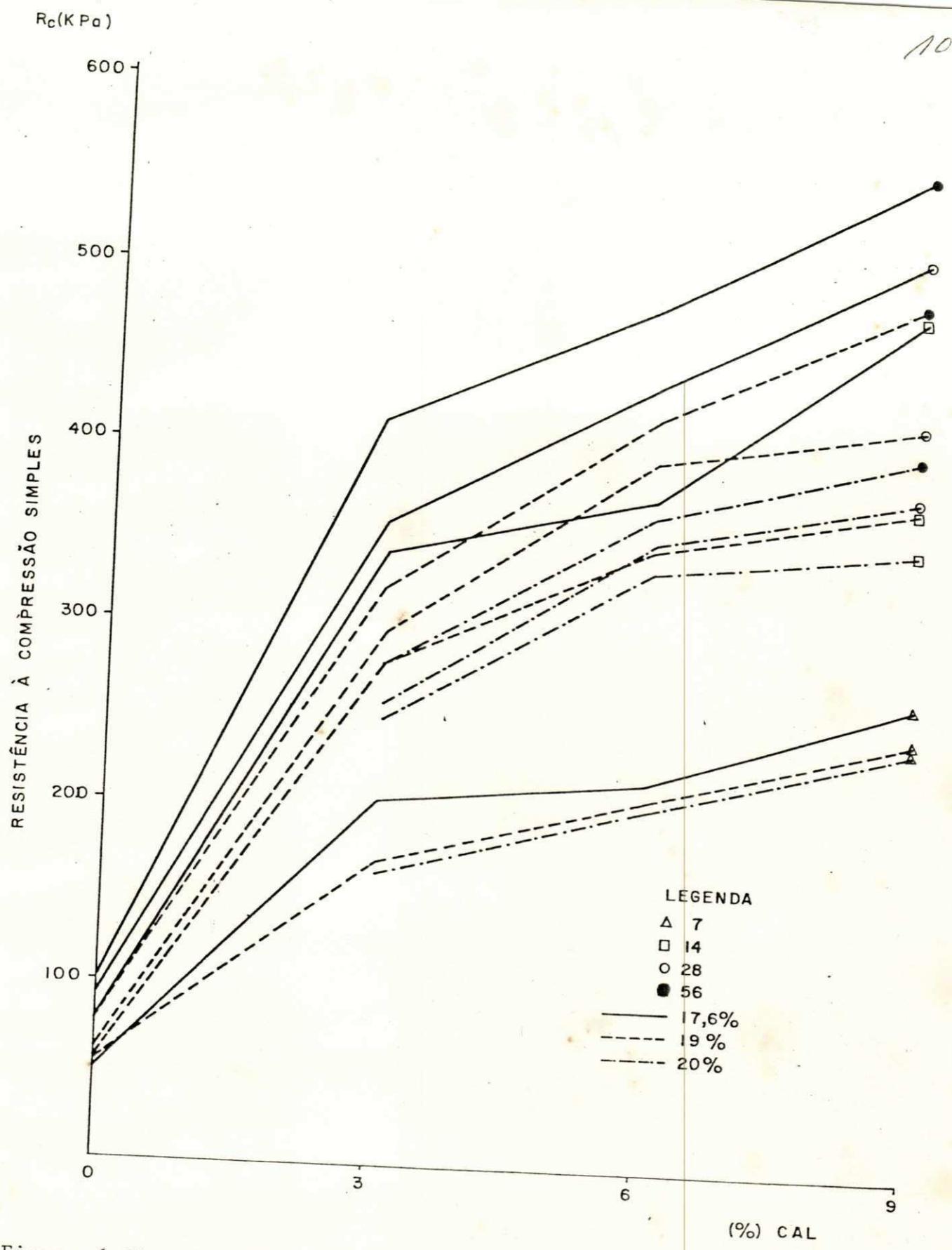
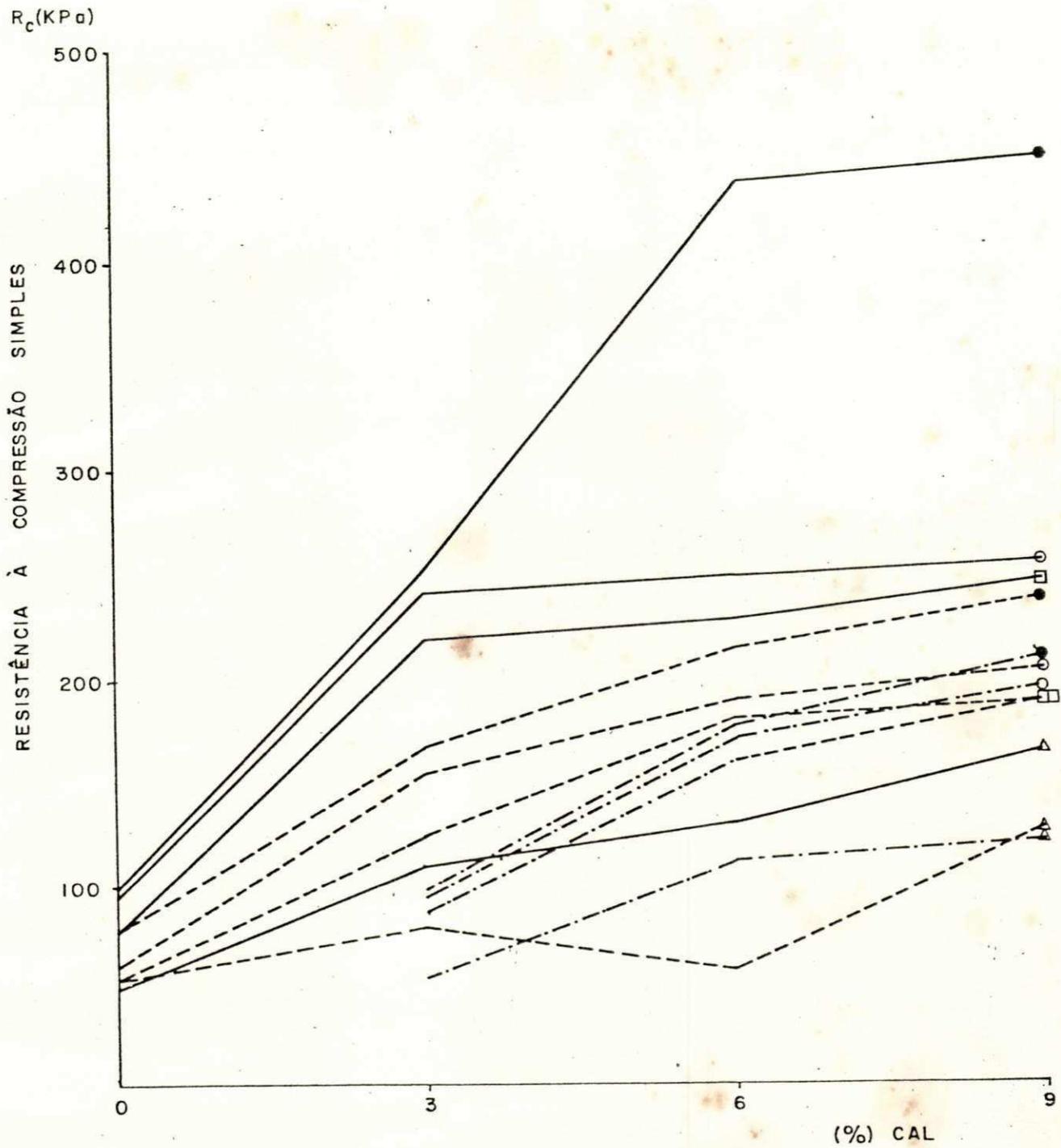


Figura 6.11 - Relação entre a Resistência com o Percentual da Cal N, para as Diferentes Unidades de Moldagem nos períodos de 7, 14, 28 e 56 dias para o Solo de NFPB.



LEGENDA
△ 7
□ 14
○ 28
● 56
— 17,6%
- - - 19%
- · - 20,4%

Figura 6.11.a - Relação entre a Resistência com o Percentual da Cal V, para as Diferentes Unidades de Moldagem, nos períodos de 7, 14, 28 e 56 dias para o Solo de NFPB.

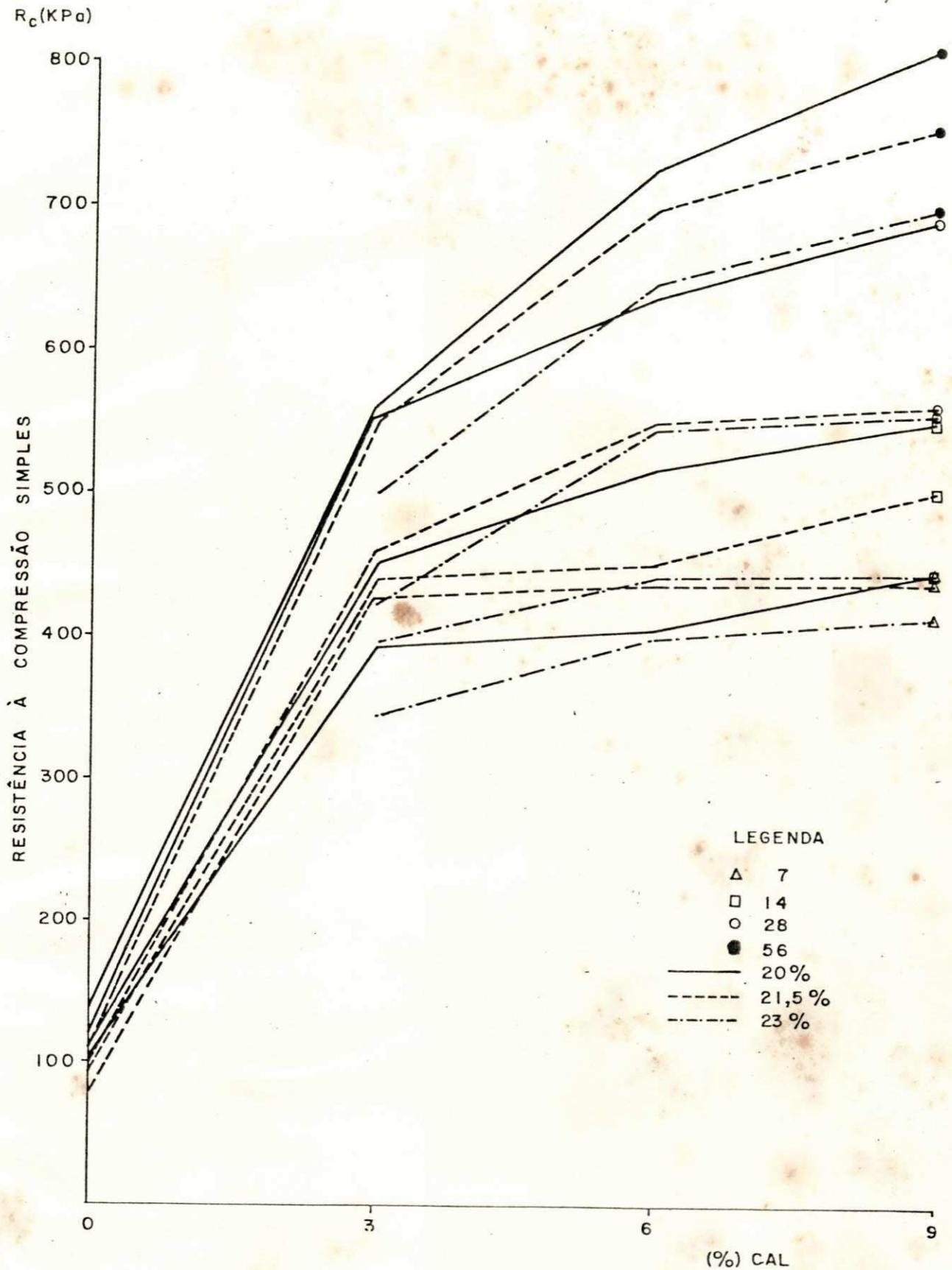


Figura 6.12 - Relação entre a Resistência com o Percentual da Cal N, para Diferentes Umidades de Moldagem, nos Períodos de 7, 14, 28 e 56 dias para o Solo de JPPB.

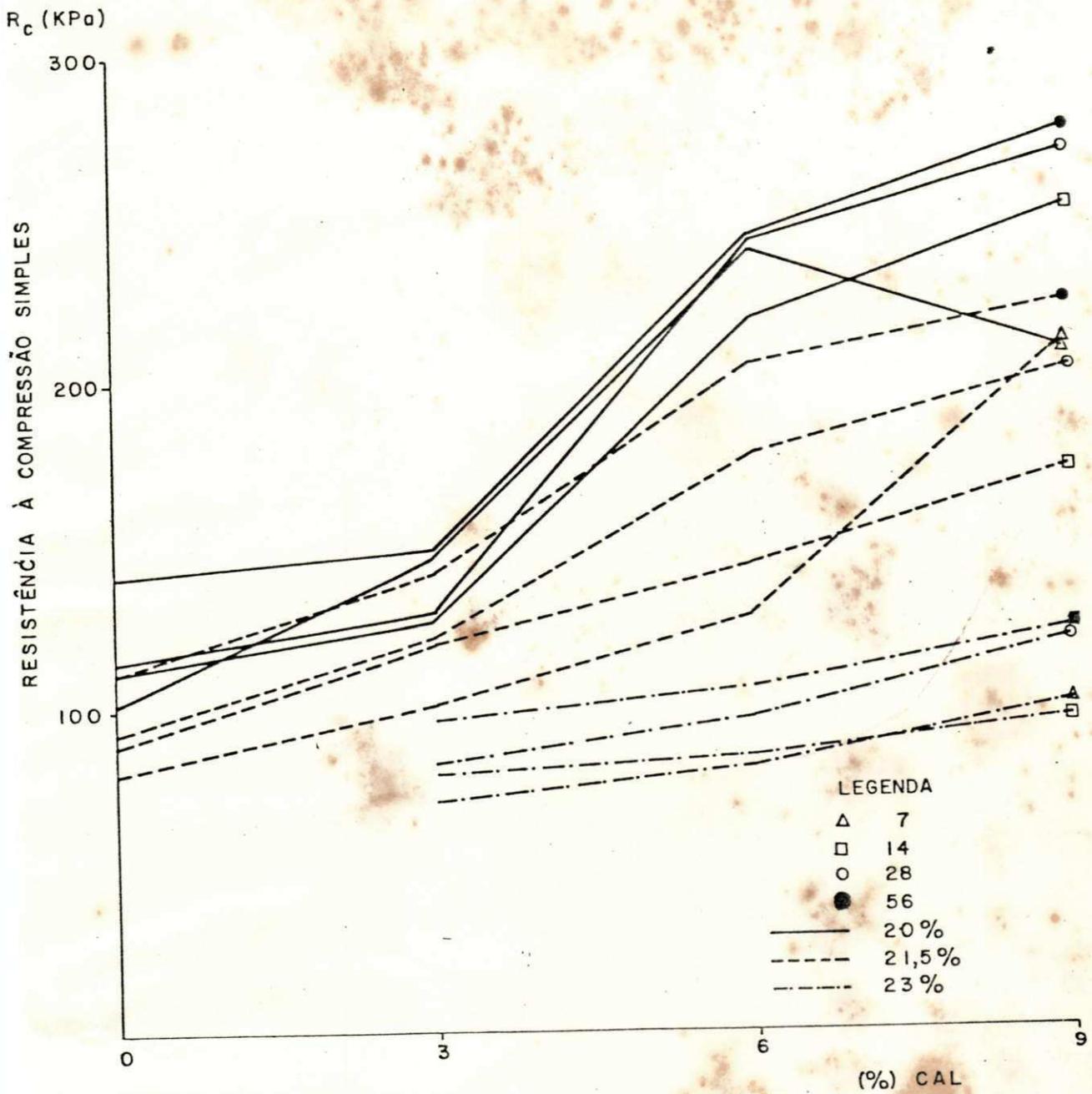


Figura 6.12.a - Relação entre a Resistência com os Percentuais da Cal V, para as Diferentes Umidades de Moldagem nos periodos de 7, 14, 28 e 56 dias para o Solo de JPPB