

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

PRO-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR

CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

INFLUÊNCIA DO "DOPPING" DE SILICATO DE SODIO E
HIDROXIDO DE SODIO NO SISTEMA SOLO-CAL APLICADOS A
SOLOS VERMELHOS TROPICAIS.

20.03.88 F284

CLAUDIA MARIA VIDERES TRAJANO

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

1991

INFLUÊNCIA DO "DOPPING" DE SILICATO DE SÓDIO E
HIDRÓXIDO DE SÓDIO NO SISTEMA SOLO-CAL APLICADOS A
SOLOS VERMELHOS TROPICAIS



T766i Trajano, Cláudia Maria Videres.
Influência do "dopping" de silicato de sódio e hidróxido de sódio no sistema solo-cal aplicados a solos vermelhos tropicais / Cláudia Maria Videres Trajano. - Campina Grande, 1991.
127 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

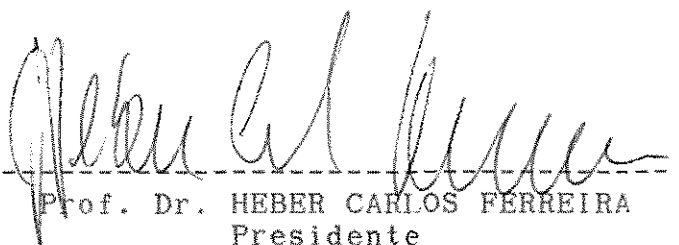
1. Solos. 2. Solos Vermelhos Tropicais. 3. Solo - Cal. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Ferreira, Heber Carlos. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 631.4(043)

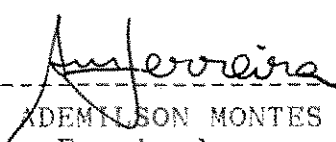
INFLUÊNCIA DO "DOPPING" DE SILICATO DE SÓDIO E
HIDRÓXIDO DE SÓDIO NO SISTEMA SOLO-CAL APLICADOS A
SOLOS VERMELHOS TROPICAIS

CLAUDIA MARIA VIDERES TRAJANO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 06 DE MARÇO DE 1991



Prof. Dr. HEBER CARLOS FERREIRA
Presidente



Prof. M.Sc. ADEMILSON MONTES FERREIRA
Examinador



Prof. M.Sc. FRANCISCO B. DE LUCENA
Examinador

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

1991

CLAUDIA MARIA VIDERES TRAJANO

INFLUENCIA DO "DOPPING" DE SILICATO DE SODIO E
HIDROXIDO DE SODIO NO SISTEMA SOLO-CAL APLICADOS A
SOLOS VERMELHOS TROPICAIS

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA, EM
COMPRIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS PARA OBTENÇÃO
DO GRAU DE MESTRE.

AREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOTECNIA

ORIENTADOR : HEBER CARLOS FERREIRA

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

1991

DEDICATORIA

A DEUS

A minha mãe JESSIE

A meus irmãos EVALDO e LEONARDO

A força espiritual da memória de meu pai EVALDO

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

Ao orientador Prof. Dr. Heber Carlos Ferreira, pelos ensinamentos transmitidos, críticas construtivas, revisão do texto, fatos esses que contribuíram para conclusão desta dissertação.

A amiga Eng^a CINTIA MACÊDO PEREIRA DA COSTA, pelo apoio constante, oportunidade de convivência e amizade.

A todos os funcionários do laboratório de Solos II, que de alguma forma colaboraram para execução deste trabalho, em especial ao amigo NERIGLISSOR GUIMARÃES OLIVEIRA.

A amiga MARILDA BARBOSA DO O, a autora agradece pelos serviços de digitação e a Joselito de Araújo Souto pelos serviços gráficos.

Aos professores e alunos do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Area de Geotecnia, que de uma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

R E S U M O

Este trabalho apresenta um estudo desenvolvido com dez solos vermelhos tropicais da região Nordeste do Brasil, visando analisar a influência dos aditivos secundários silicato e hidróxido de sódio a diferentes concentrações e tempos de cura, bem como analisar o mecanismo de ação destes aditivos secundários no sistema solo vermelho tropical-cal.

Os solos vermelhos tropicais foram ensaiados através da determinação da resistência à compressão simples (RCS) com 6% de cal em massa, sendo logo após adicionado os aditivos secundários hidróxido e silicato de sódio nas proporções de 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% e 4,0% aos corpos de prova, utilizados separadamente, curados por períodos de 7, 28 e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Analisando-se os resultados a partir de valores da RCS-cal + compostos sódicos (hidróxido e silicato de sódio), verificou-se uma gradual elevação no valor da RCS nos solos estudados nas diversas concentrações e tempos de cura, bem como observou-se um benefício nas propriedades mecânicas do sistema solo vermelho tropical-cal. Foi constatado também que a variação da RCS em função dos aditivos foi não linear. O aditivo secundário silicato

de sódio foi bem mais efetivo do que o hidróxido de sódio.

A partir dos estudos estatísticos realizados na forma de correlações lineares simples, bons resultados foram obtidos nas correlações lineares simples entre as PCS dos solos-cal + compostos sódicos (silicato e hidróxido de sódio) em relação a percentagem de caulinita isolada e em relação a percentagem de caulinita mais materiais amorfos.

Estes estudos evidenciaram a eficiência dos aditivos secundários silicato e hidróxido de sódio na estabilização dos solos.

A B S T R A C T

This thesis describes a development study with ten tropical red soils in north-east region of Brazil, the purpose is to analyse the influency of the secondary additive sodium silicate and sodium hidroxide in differents concentrations and time of cure, as too analyse the mecanism of the action of the secondary additives in the system tropical red soil-lime.

The tropical red soils has been studied through of the determination of simple compression strenght (RCS) with 6% of lime in mass, afterwards it added the secondary additives sodium hidroxide and sodium silicate in the proportions of 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% e 4,0% to the sample, and it was utilized separetedly, the cure was in the period of 7, 28 and 60 days in humid chamber with 100% of humidity and room temperature of $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Analysing the results with the values of the RCS-lime + sodics compounds (sodium hidroxide and sodium silicate) it was noted a elevation gradual in the soils which was studied in the concentration several in time of cure, as too a benefit in the mecanism properties of the system tropical red soil-lime. The variation of the additive was not-linear. The secondary additive

of sodium silicate was more effective than the sodium hidroxide.

The statistics studies realized in the shape of simple linears correlations between the RCS of the soils-lime + sodics compounds (sodium silicate and sodium hidroxide) in relation the percentage of caulinite and in relation the percentage of caulinita more amorfs materials.

This study show us the efficient of the secondary additives sodium silicate and sodium hidroxide in the stabilization of the soils.

I N D I C E

	Página
CAPITULO 1	
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	01
CAPITULO 2	
REVISÃO BIBLIOGRAFICA	03
2.1 - Introdução	03
2.2 - Solos Vermelhos Tropicais	03
2.2.1 - Histórico	03
2.2.2 - Formação de Solos Lateríticos	04
2.2.3 - Propriedades Químicas e Mineralógicas de Solos Lateríticos	05
2.2.3.1 - Propriedades Químicas	06
2.2.3.2 - Propriedades Mineralógicas	06
2.3 - Classificação de Solos Vermelhos Tropicais ...	07
2.4 - Comportamento dos Solos Vermelhos Tropicais Estabilizados com Cal	10
2.5 - Solo-Cal com Compostos Sódicos	19
2.6 - Solo-NaOH e Solo-Cal + NaOH	21
2.7 - Solo-Silicato de Sódio e Solo-Cal + Silicato de Sódio	26
CAPITULO 3	
MATERIAIS E METODOS	36
3.1 - Introdução	36
3.2 - Materiais	36
3.2.1 - Solos	36
3.2.2 - Cal	52

	Página
3.2.3 - Hidróxido de Sódio	52
3.2.4 - Silicato de Sódio	52
3.3 - Métodos	53
3.3.1 - Preparação de Amostras	53
3.3.2 - Cal	53
3.3.3 - Resistência à Compressão Simples	53
3.3.4 - Análise Estatística	55
 CAPITULO 4	
RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 - Introdução	58
4.2 - Efeitos dos Aditivos na RCS	58
4.3 - Análise Estatística	69
 CAPITULO 5	
CONCLUSÕES	77
SUGESTÕES PARA PESQUISA POSTERIORES	79
BIBLIOGRAFIA	81
 CAPITULO 6	
TABELAS	90
GRAFICOS	112
 APÊNDICE A	
SIMBOLOGIA UTILIZADA	124
 APÊNDICE B	
METODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA RCS ...	125

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO e OBJETIVOS

1.1 - INTRODUÇÃO

De uma maneira geral, estabilizar um solo consiste em alterar as propriedades existentes do solo, obtendo-se um material capaz de melhorar o atendimento às solicitações impostas. Estas alterações podem ser proporcionadas por vários métodos o qual incluem o químico, térmico, mecânico e outros meios. Segundo Ingles e Metcalf (1972), a estabilização não deve ser utilizada somente em termos de tratamento corretivo, mas também como medida preventiva ou de segurança contra as condições adversas desenvolvidas no curso da construção ou durante a vida útil da obra. As técnicas de estabilizações vem sendo aperfeiçoadas ao passar dos anos e o uso de aditivos químicos vem cada vez mais se intensificando em todas as partes do mundo.

Em regiões tropicais, a estabilização de solos aplicada a solos vermelhos tropicais apresentam certas limitações, e estas são atribuídas a peculiaridades de ocorrência, composição e estrutura dos solos tropicais. Em processos de estabilizações, a cal é empregada na melhoria dos solos argilosos e sua utilização em solos vermelhos tropicais apresenta muitas contradições relacionadas com as propriedades do sistema solo-cal. Um dos problemas relativos à estabilização com cal deve-se a baixa reatividade do sistema, fazendo com que obras assim construídas necessitem de um longo tempo de cura, o que é indesejável

principalmente quando se trata de obras rodoviárias.

Vários autores têm mencionado o melhoramento nas propriedades mecânicas dos solos tratados por aditivos químicos do tipo silicato e hidróxido de sódio. Embora apresentem dados experimentais insuficientes, estes são promissores. Apesar de não ser usual a utilização destes aditivos para estabilização de solos argilosos, existem algumas razões para acreditar que estes aditivos secundários no sistema solo-cal possam ser benéficos. Nos solos vermelhos tropicais especialmente os de textura fina acrescidos de aditivos químicos, foram realizados apenas pesquisas preliminares. Resolvendo-se, desta forma, ampliar os estudos de estabilização química em solos vermelhos tropicais, para desenvolver uma nova técnica de estabilização com uma nova técnica operacional simples, beneficiando as propriedades mecânicas destes solos.

1.2 - OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa consiste em ampliar os estudos existentes sobre o comportamento de solos vermelhos tropicais da região Nordeste do Brasil, através de estabilização com cal e aditivos secundários do tipo silicato e hidróxido de sódio bem como analisar o mecanismo de ação destes aditivos secundários no sistema solo tropical -cal, proporcionando uma melhor compreensão do comportamento dos aditivos secundários nestes solos.

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Introdução

Este capítulo foi dividido em três partes. Sendo a primeira parte constituída por uma revisão sobre a conceituação de solos vermelhos tropicais, com uma abordagem das várias metodologias de classificação de solos vermelhos tropicais, mostrando sua diversidade e complexidade. Em seguida, na segunda parte, é feito um estudo dos solos vermelhos tropicais estabilizados com cal. E na terceira e última parte é feito um estudo específico de hidróxido de sódio e silicato de sódio em relação a sua utilização em solos. Sempre que possível enfocou-se suas aplicações a solos vermelhos tropicais.

2.2 - Solos Vermelhos Tropicais

2.2.1. - Histórico

O termo laterita foi sugerido inicialmente por Buchanam (1807) para designar um material por ele encontrado em Malabar, ao sul da Índia. Tratava-se de um material ferruginoso que, quando exposto ao ar, endurecia rapidamente, adquirindo alta resistência aos processos de alteração. Devido a essa propriedade era utilizado fazendo às vezes de tijolo, de cuja palavra latina "latter" deriva o termo.

No final do século XIX, iniciou-se novo período de pesquisas, baseado nas características químicas, pedológicas e

geológicas das lateritas. O primeiro conceito químico das lateritas foi dado por Mallet (1883). Ele salientou que o ferro e o alumínio são os elementos responsáveis pela natureza da laterita. Posteriormente Max Bauer (1898), conduzindo estudos nas Ilhas da Cecília, afirmou que as lateritas têm características químicas essenciais da bauxita. Do ponto de vista pedológico, Glinka (1899) explicou que nos trópicos, devido ao tipo de intemperismo químico existente, os resíduos possuem uma razoável quantidade de alumínio hidratado. Do ponto de vista geológico, Holland (1903) afirmou que não há dúvida de que durante o intemperismo dos silicatos aluminosos nos trópicos, a sílica, os álcalis e alcalinos terrosos são removidos na solução, enquanto que a alumina e óxido de ferro se tornam hidratados e permanecem na solução.

2.2.2. - Formação dos Solos Lateríticos

Os solos lateríticos foram formados por um processo denominado de laterização que consistia essencialmente de alterações químicas e físico-químicas e/ou transformações dos minerais constituintes da rocha de origem em materiais ricos principalmente em argilo-mineral 1:1 e constituintes lateríticos (Fe, Al, Ti e Mg). A gênese dos materiais residuais lateríticos pode ser dividida em três estágios:

- 1 - O primeiro estágio (intemperismo primário, decomposição) consistia na total ou parcial ruptura física e química de minerais primários e consequente liberação de pequenos

elementos primários e gels sesquióxidos;

2 - O segundo estágio (intemperismo secundário, laterização) consistia na lixiviação total ou parcial de sílica combinada e bases e a acumulação relativa ou enriquecimento de óxidos, hidróxidos e sesquióxidos (principalmente Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2) provenientes de outras fontes. A extensão alcançada pelo segundo estágio dependia da natureza e do grau de intemperismo químico dos minerais primários.

Sob condições semi-tropicais de baixa atividade química e de formação de solos, o intemperismo não vai além do estágio de formação de argila e o produto final consistia principalmente de argilo-minerais representados por caulinita e óxidos hidratados (ou não) de ferro/alumínio.

Sob condições climáticas quente úmido com vegetação densa, o intemperismo pode alcançar tal intensidade que mesmo argilo-minerais foram destruídos e a sílica foi lixiviada, o material remanescente consistiu exclusivamente de óxidos de alumínio como gibsitita ou óxidos hidratados de ferro como a limonita ou goetita derivada do ferro;

3 - O terceiro estágio (desidratação ou dissecação) consistia na desidratação total ou parcial, algumas implicando em endurecimento, de materiais ricos em sesquióxidos e minerais secundários. (Gidigasu, 1971,1976; Young,1976 e Moh et al,1972).

2.2.3 - Propriedades Químicas e Mineralógicas de Solos Lateríticos.

2.2.3.1 - Propriedades Químicas

Quanto à composição química, os constituintes mais importantes dos solos lateríticos são o Si, Fe e Al; além destes as composições têm revelado a presença de óxidos de titânio, cálcio, magnésio, sódio, potássio e fósforo, mas em porcentagens inferiores a 1%. A excessão do titânio em forma de óxidos, que, às vezes, chega até a 7%. Borba (1981).

Os materiais amorfos são óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e silício e os silicatos de alumínio e ferro, todos em combinação com a água. Estes são de grande importância nos solos lateríticos, pois sua presença justifica diversas propriedades de comportamento de engenharia nos solos lateríticos.

Os sesquióxidos (Fe_2O_3 e Al_2O_3) são óxidos em que a proporção de átomos de oxigênio para o outro elemento é de três para dois. Devido ao processo de formação dos solos lateríticos, os sesquióxidos são fatores preponderantes no entendimento de suas características, além de serem utilizados para se classificar estes solos.

2.2.3.2 - Propriedades Mineralógicas

A composição mineralógica dos solos lateríticos também é considerada de grande importância para a explicação das diversas propriedades dos solos lateríticos. Os minerais mais comuns existentes nestes solos são a goetita ou limonita e a hematita, caracterizadas pela presença do ferro. A alumina é

comum como gibsitita. Boemita e formas amorfas são também razoavelmente comuns. Minerais de titânio incluem usualmente, rutilo, anatásio e ilmenita. E o argilo-mineral predominante nos solos lateríticos é a caulinita raramente aparecendo mica, sericitita e illita. O quartzo também pode estar presente em grandes quantidades, dependendo da composição da rocha-mãe, que aliás é de grande importância na formação destes solos. (Gidigasú, 1974).

Para se determinar a composição mineralógica pode-se usar a difração de raio X, microscopia eletrônica, análise termogravimétrica (ATG) ou da análise termodiferencial (ATD).

2.3 Classificação de Solos Vermelhos Tropicais

Existe uma dificuldade básica de unificar a conceituação de solo vermelho tropical devido a sua complexidade e diversificação, uma vez que os pesquisadores dos diversos ramos da ciência se interessam direta ou indiretamente em cada grupo, seja ele composto por agrônomos, químicos, mineralogistas ou mesmo engenheiros civis, sem se preocuparem em atingir um consenso com relação ao problema de conceituação ou classificação de solo vermelho tropical. Uma unificação quanto ao conceito e à classificação contribuiria num melhor entendimento destes solos e nos conduziria a importantes condições de projetos para serem utilizáveis com estes solos na geotecnia e engenharia rodoviária.

Os solos vermelhos tropicais são representados no Sistema de Classificação de Solos Brasileiros de acordo com a Embrapa (1980) nos chamados latossolos e solos podzólicos. Estas duas classes

correspondem aos oxisolos e aos ultisolos.

Os latosolos (oxisolos), segundo o Progress Report (1981/1985), são solos minerais bem drenados, profundos, geralmente com mais de dois metros e tem alta porosidade. Esses solos são muito homogêneos, suas cores variam do amarelo ao vermelho escuro e possuem grande quantidade de óxido de ferro. A textura é de areia fina e a relação sílica/sesquióxidos é menor que o 1,5. Normalmente o teor de argila cresce com a profundidade ou permanece constante através da prospecção. São solos típicos de zonas tropicais e equatoriais, mas ocorrem também em regiões subtropicais normalmente cobrindo grandes superfícies erodidas.

Enquanto que os solos podzólicos (ultisolos), segundo o Progress Report (1981/1985), são solos minerais e não hidromórfico. Estes solos são moderadamente profundos, a porosidade é menor do que a do latosolo e suas cores variam do vermelho ao amarelo. Estes solos são distribuídos em zonas equatoriais, tropicais e sub-tropicais.

Muitos pesquisadores, como Nogami e Villibor (1981) e Queiroz de Carvalho (1981), têm apontado dificuldades quando utilizam técnicas de sistemas de classificação geotécnica internacional, para a maioria dos solos com envolvimento tropical. A principal razão das dificuldades são os diferentes comportamentos entre solos tropicais e solos de regiões temperadas. Entretanto, como as classificações de solos vermelhos tropicais são bastante complexas, o Comitê Internacional de Solos Tropicais relaciona três sistemas de classificação para uso na

mecânica dos solos que são:

- a) Classificações químicas, pedológicas e morfológica;
- b) Classificações ortodoxas;
- c) Classificações não-ortodoxas.

As classificações químicas, pedológicas e morfológicas baseiam-se principalmente na geologia e pedologia. As classificações ortodoxas são aquelas baseadas em análise granulométrica e limites de Attemberg, sendo estes desenvolvidos para solos de região temperada, e, no entanto, limitadas quando aplicadas a solos vermelhos tropicais, pois normalmente o comportamento dos solos vermelhos tropicais estão associados com as características das frações finas, i. é, argila, silte e areia, o que difere essencialmente para os solos não-lateríticos. As classificações não-ortodoxas apresentam-se insuficientes devido às limitações das classificações ortodoxas, ou talvez devido ao insucesso das adaptações feitas a estas. Desta forma, a grande maioria destas classificações são desenvolvidas para fins específicos e, como tais, somente dão informações sobre o comportamento particular ou propriedades de solos classificados.

Em resumo, os solos vermelhos apresentam dificuldades na sua conceituação, sendo estes solos provenientes de intemperismo físico ou químico. As técnicas dos sistemas de classificação geotécnica internacional são desenvolvidas para solos de região temperada, e, no entanto, limitadas quando aplicadas a solos vermelhos tropicais. Várias propostas tem sido realizadas no sentido de classificar os solos vermelhos tropicais baseados em critérios os quais possibilitem no melhor entendimento dos solos

vermelhos tropicais.

2.4 - Comportamento dos Solos Vermelhos Tropicais Estabilizados com Cal

Dentre os diversos tipos de aditivos usados no processo de estabilização, a cal é empregada na melhoria das propriedades dos solos argilosos, em regiões de clima temperado. Sua utilização em solos vermelhos tropicais é um assunto ainda não totalmente esclarecido existindo muitas contradições relacionadas com as propriedades do sistema solo-cal.

As interações do sistema solo-cal ocorrem de diferentes maneiras e têm diferentes interpretações dependendo do autor considerado. Os principais mecanismos nas interações de solo-cal são:

- a) troca de cátions e floculação;
- b) carbonatação;
- c) reação pozolânica.

Esta abordagem, frequentemente encontrado na literatura será relatada de forma detalhada.

A) Troca de Cátions e Floculação

Os elementos da cal dissociam-se em cátions cálcio e ânions hidróxila, iniciando-se a reação de troca de cátions. Geralmente a ordem na substituição dos cátions associados com solos dá-se de acordo com a seguinte série $Na^+ < K^+ < Ca^{2+} < Mg^{2+}$, tendendo os cátions monovalentes serem substituídos por cátions multivalentes, ocorrendo uma aglomeração adicional de

cátions em torno das partículas do argilo-mineral, modificando as cargas elétricas ao redor das partículas do argilo-mineral. Como resultado, existem a floculação e a aglomeração que produzem uma aparente mudança na textura das partículas dos argilo-minerais.

B) Reação de Carbonatação

A reação de carbonatação da cal ocorre com o dióxido de carbono da atmosfera e nas minúsculas bolhas gasosas absorvidas pela mistura para formar o carbonato de cálcio ou magnésio. O produto obtido é um fraco agente cimentício tendo sua formação dificultada em face da baixa porosidade apresentada por grande parte dos solos, e apresenta-se de forma prejudicial ao resultado de ganho de resistência.

C) Reação Pozolânica

São as reações entre a cal, água e solos silicosos e aluminosos para formar materiais cimentantes. Quando quantidade significativa de cal é adicionado ao solo, o valor do pH é elevado, a solubilidade da sílica e da alumina aumenta com a elevação do nível do pH. O processo de reação no sistema solo-cal de alta alcalinidade envolve a dissolução das arestas das partículas de sílica acompanhada por precipitação dos produtos da reação. A reação pozolânica é influenciada primariamente por propriedades do solo natural. As características que influenciam na reação com a cal para produzir materiais cimentantes são: o valor do pH; o teor de matéria orgânica; a presença excessiva de quantidade de sódio; o argilo-mineral presente; o grau de intemperismo; a presença de carbonatos; o teor de ferro; a relação

silica/sesquióxido e a relação silica/alumina.

De acordo com a literatura pesquisada as misturas de solo-cal dependem de muitas variáveis como: tipo de solo; tipo de cal; percentagem de cal e condições de cura incluindo tempo e temperatura, sendo que com adição da cal aos solos ocorrem variações nas características dos solos, tais como:

1) Índice de plasticidade - que mede o grau de plasticidade do solo, diminui. Esta transformação é influenciada pelo aumento do limite de plasticidade e diminuição do limite de liquidez;

2) melhoria da trabalhabilidade - verifica-se que a cal e a água aceleram a desintegração dos torrões argilosos durante a pulverização, beneficiando a trabalhabilidade;

3) valor da aglutinação do solo - este valor aumenta substancialmente pelo efeito aglomerante das partículas de cal;

4) contração e expansão linear - diminuem bruscamente, o solo tratado torna-se mais estável;

5) resistência à compressão simples - há um aumento considerável no valor desta;

6) índice de suporte califórnia - o valor deste é aumentado substancialmente;

7) ação de secagem - significa que com a adição da cal, um dado solo argiloso pode reter uma quantidade de água adicional;

8) parâmetros de cisalhamento - a resistência ao

cisalhamento nos solos estabilizados com cal aumentam devido ao acréscimo do ângulo de atrito e da coesão;

9) permeabilidade - nos solos mais coesivos e mais reativos, há um aumento no fator de permeabilidade de acordo com a imediata floculação da mistura, aumentando o índice de vazios;

10) compactação - redução $\gamma_{sm\acute{a}x}$ devido à adição da cal ser atribuída ao fato da cal causar agregação e floculação das partículas. Esta aumenta o número de vazios e como consequência o peso por volume é reduzido. Em relação ao teor de W_{ol} , este tem o seu valor aumentado devido ao aumento do número de vazios do solo, o qual retém mais água.

Além das reações básicas e das variações nas características do sistema solo-cal, estudos específicos realizados por Cabrera e Nwakama (1979a) demonstram que o mecanismo de reação entre o solos vermelho tropical-cal é um processo de difusão controlada.

A reatividade do sistema solo vermelho tropical-cal é objeto de estudo por muitos pesquisadores. A reatividade é entendida como sendo o máximo ganho de resistência a um teor de cal particular, de acordo com diversas pesquisas parece razoável considerar a razão do aumento da resistência em relação ao teor de cal utilizado. Segundo Harty e Thompson (1973), nos solos tropicais e subtropicais os quais eles classificam como ultisolos (solos podzólicos) e oxisolos (latosolos), não existe correlação entre o pH do solo e a reatividade da cal quando ambos os tipos de solos são analisados juntos. No entanto, quando os ultisolos são considerados separadamente foi encontrado que o pH do solo

relaciona-se com a reatividade da cal. Sendo que alto valor do pH proporciona uma melhor reatividade. A matéria orgânica é um fator deletério na estabilização de solos, Harty (1971) encontrou uma correlação negativa entre matéria orgânica e a reatividade da cal.

Fazendo-se relações entre propriedades dos solos vermelhos tropicais da região Nordeste do Brasil e a reatividade da cal, Queiroz de Carvalho (1979) revelou que não houve correlação entre a reatividade da cal e as propriedades de compactação dos solos tratados com cal apesar do $\gamma_{sm\acute{a}x}$ e W_{ot} dos solos decrescerem e crescerem respectivamente com a adição da cal. Também foi comprovado que a reatividade da cal não teve correlação com as propriedades físicas dos solos tais como: densidade; teor de umidade; limites Atteberg; atividade coloidal e fração tamanho argila. Na complexidade existente na CTC foi revelado uma correlação muito interessante e de alta significância a qual encontrou-se na diferença da CTC_{pH10} e CTC_{pH7} ($CTC_{pH10} - CTC_{pH7}$) com a reatividade da cal. Os componentes quílicos (silica, alumina e ferro) não foram correlatos com a reatividade da cal, e foi observado que óxido de ferro no estado cristalino ou no estado amorfo não foi correlacionado significativamente com a reatividade da cal. Os componentes amorfos (silica e alumina) determinados na fração argila foram os únicos a terem propriedades altamente significativas com a reatividade da cal.

Winterkorn e Chandrasekharan (1951), pesquisando sobre estabilização com cal em solos tropicais, propuseram uma atenção

especial à análise do efeito do grau de intemperismo, bem como sua composição química, pois estes pesquisadores concluíram que em geral a susceptibilidade dos solos vermelhos tropicais para estabilização com a cal aumenta com o incremento do grau de laterização como é mostrado pela relação sílica/sesquióxido. Observando a presença de sesquióxidos (óxidos de ferro e alumínio), Townsend et alli (1971) afirmaram que superfícies de argilas cobertas por sesquióxidos inibem a reação argila-cálcio e, conseqüentemente, a estabilização do solo. De acordo com Biszewski (1963), a presença de sesquióxidos reduz a resistência dos solos estabilizados. Por outro lado, Gidigasú (1976), De Graft-Johnson e Bhatia (1970) afirmaram que devido ao alto teor de sesquióxidos, os solos lateríticos podem ser efetivamente estabilizados com cal. Queiroz de Carvalho (1979), baseado no fato de que a extração de sesquióxidos muda as características dos componentes amorfos do solo, concluiu que a presença da sílica e alumina amorfo foram os maiores contribuintes das reações de estabilização.

Queiroz de Carvalho (1979a), pesquisando solos vermelhos tropicais dos estados do Nordeste do Brasil aditivados com 1,5%, 3,0% e 6,0% de cal curados por períodos de 28 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de 22°C +- 2°C, e os classificando de acordo com a sistemática de Thompson (1966) concluiu que os solos vermelhos tropicais do estado da Paraíba foram classificados como solos de baixa reatividade devido a sua RCS variar de 490 kPa a 470 Kpa.

Costa et alli (1986), trabalhando com solos vermelhos

tropicais estabilizados com 1,5%, 3,0%, 4,5% e 6,0% de cal da região Nordeste do Brasil, concluíram que a reatividade da cal embora se correlacione diretamente com os parâmetros de compactação e fração tamanho argila foi altamente correlacionado com os componentes amorfos sílica e alumina. Estes mesmos autores verificaram, neste trabalho, que não existiu um tempo ótimo de cura para o sistema solo-cal.

Ferro (1976) trabalhou com solos vermelhos tropicais do estado da Paraíba aditivados com 3,0% e 5,0% de cal curados por períodos de 7 dias e 1 dia de imersão. Nesse estudo foi verificado as características de plasticidade e resistência a penetração, em cujos resultados verificou-se que o solo de Nova Floresta foi o que obteve maior ganho de resistência, e em sua conclusão afirmou que este solo poderá ser utilizado sem restrições como material de base rodoviária.

De acordo com Cabrera e Nwakanna (1979), foi proposto que a atividade pozolânica dos solos vermelhos tropicais fossem expressos pelo índice de atividade o qual é diretamente proporcional a percentagem da fração tamanho argila:

$$A_i = kn^x$$

onde:

A_i = Índice de atividade;

k = constante

n = percentagem da fração tamanho argila;

x = constante dependendo do tipo do material.

A correlação entre o índice de atividade e a RCS foi

estatisticamente significativa, podendo ser visto que o índice de atividade obtido pelo uso do modelo teórico foi uma representação válida da atividade pozolânica dos solos vermelhos tropicais estudados. As vantagens do valor A_i foi o de ser um parâmetro baseado no modelo teórico através do qual se obteve mais rapidamente o valor da reatividade, o qual requer grandes trabalhos de laboratório. Segundo os autores, os valores de atividade pozolânica variaram respectivamente de $0,12 \times 10^{-4}$ / dia a $4,08 \times 10^{-4}$ / dia como limite entre os solos pozolânicos e não pozolânicos.

Aflitos (1981), pesquisando solos vermelhos tropicais da região Norte e Nordeste do Brasil estabilizados com 1,0%, 4,0%, 7,0% e 10,0% de cal curados por períodos de 27 dias em câmara úmida e imerso em água por 1 dia, relatou que a adição de cal melhorou as características de engenharia dos solos com o aumento do limite de plasticidade, um leve aumento no limite de liquidez e crescimento da RCS.

Cabrera e Ramezaniapor (1988), pesquisando a reatividade de uma pozolana natural e uma micro-silica estabilizada com cal curados por períodos de 0,2,6,12,21,30,48,72,120 e 216 horas, verificaram que o índice de reatividade foi rápido nos primeiros dois dias e diminuiu com o tempo, estes autores observaram também que a reatividade da cal foi muito superior a da pozolana natural, a razão para essa considerável diferença pode ser atribuída a proporção da fase amorfa da sílica e alumina na pozolana natural e na micro-silica e devido também à área

específica destes mesmos materiais. Neste mesmo trabalho, os autores propuseram um modelo para o índice de reatividade baseado na constante de difusão de Jander e Lei de Fick, segundo eles os valores encontrados variariam de 16×10^{-4} / dia a 19×10^{-4} / dia.

Neves (1989), pesquisando 16 solos vermelhos tropicais da região Norte e Nordeste do Brasil no estado natural e aditivado com 3,0%, 6,0% e 9,0% de cal curados por períodos de 7,28 e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa, concluiu que as áreas específicas determinadas pelos métodos do permeâmetro de Blaine e Fisher foram altamente correlacionadas com a RCS quando submetida a sistemática proposta por Thompson (1966). O autor observou também que as regressões lineares simples mostraram-se as mais adequadas. Verificando ainda que os melhores resultados obtidos para RCS foram os solos aditivados com 6,0% de cal e curados por períodos de 28 e 60 dias de cura.

Do ponto de vista da engenharia rodoviária, O'Flaherty (1974) afirmou que as misturas de solo-cal foram geralmente utilizadas em regiões quentes refletindo a importância da temperatura nas misturas de solo-cal. Segundo este autor, a estabilização de solo-cal foi amplamente utilizada nos EUA onde foi empregada para modificação do material de sub-base e base, sendo que estas estabilizações foram baseadas em dados da RCS preparados na W_{ot} e $\chi_{sm\acute{a}x}$. Na região de Illinois, a resistência mínima requerida para sub-base foi de 69 N/m^2 e 103 N/m^2 para camada de base. Na região da Louisiana e do Texas sugere-se o critério de resistência mínima de $34,5 \text{ N/m}^2$ para sub-base e 69

N/m^2 para camada de base. Quanto aos solos vermelhos tropicais, estes, no estado natural, apresentam-se como um material de boa qualidade podendo ser utilizado como material de sub-base sem maiores problemas, mas para sua utilização como base necessita-se de um melhoramento de suas propriedades que podem ser realizadas através da estabilização.

Contudo os mecanismos relativos à interação de solo-cal encontram-se bem estudados sendo conhecidas as suas diversas etapas, apresentando substancial melhoramento das propriedades de plasticidade, trabalhabilidade, RCS, CBR, permeabilidade e muitas outras propriedades em relação aos solos naturais. Tais mecanismos contribuem para melhorar as condições do solo in situ.

2.5 - Solo-Cal com Compostos Sódicos

De acordo com a Discussion of Stabilization of Air Dry Soils (1980), os efeitos de compostos de sódio ao sistema solo-cal podem ser resumidos da seguinte forma:

a) aumento de resistência devido à incorporação de compostos de sódio aos solos e ao grande número de sais de metais alcalinos existentes nos solos;

b) todos os compostos de sódio formaram sais insolúveis com cálcio;

c) a eficácia dos compostos de sódio varia com o tipo de solo, e esta eficácia diminui com o aumento da plasticidade do

solo e com o teor de matéria orgânica;

d) os solos individualizados variam a diferentes concentrações de compostos sódicos;

e) concentrações ótimas de compostos de sódio dependem da percentagem de cal adicionada ao solo;

f) os compostos de sódio melhoram a resistência a ruptura devido à incorporação de aditivos alcalinos, tornando-os menos marcada a alta concentrações de cal e no entanto promovendo previamente maiores intensidades;

g) a durabilidade de solo-cal ao congelamento e ao degelo podia ser melhorada pela adição de compostos sódicos;

h) os compostos de sódio promovem a adição da sílica (silicato de sódio) ou formam a sílica do solo mais reativa e ao mesmo tempo controla a reação entre a cal e a sílica para facilitar a distribuição mais uniforme de cimentações de silicatos de sódio.

O efeito dos aditivos de sódio também são influenciados pelos diferentes tipos de solo da seguinte forma:

a) solos arenosos - a superfície livre da sílica reativa é pequena e a formação do gel cimentício de silicato é limitada. A razão da extração de sílica com álcali é baixa, portanto o silicato de sódio foi o aditivo sódico mais efetivo para este tipo de solo;

b) solos argilosos - tais solos têm uma grande superfície

específica e contém considerável quantidade de sílica reativa. Estes solos diminuíram consideravelmente o pH do solo quando misturados com a cal, sendo que o hidróxido de sódio altera o valor do pH ajudando o processo de cimentação;

c) solos siltosos - sendo um solo com propriedades e condições intermediárias tem pouca importância o uso de compostos sódicos em termos de tensão de ruptura;

d) solos com teor de matéria orgânica - a presença de matéria orgânica nos solos é prejudicial aos efeitos de estabilizações com cal. Os íons de cálcio são absorvidos pela matéria orgânica e a concentração dos íons de cálcio são reduzidas e estas reações são rápidas devido ao aumento do pH. Desta forma, a adição de Alkali facilita a absorção dos íons de cálcio, com a presença de sulfato de sódio o pH é reduzido inicialmente, e a matéria orgânica permanece inativa beneficiando os íons de sódio.

Ficando evidenciado desta forma que a adição de compostos sódicos ao sistema solo-cal melhora as propriedades de resistência, promovendo maiores intensidades, bem como o seu efeito nos diferentes tipos de solos deu-se de maneira eficiente.

2.6 - Solo-NaOH e Solo-Cal + NaOH

Consoante Laad, Moh e Lambe (1960), a adição de compostos de sódio ao solo-cal ou solo-cal - cinza volante eleva o valor do pH e reduz a concentração do íon cálcio, com conseqüente

retardamento na precipitação de silicato de cálcio. Com a elevação do pH, aumenta-se a aceleração do ataque à sílica ou alumina do solo, com a formação de silicato e/ou aluminato de sódio, solúvel, que tem liberdade para difundir-se no meio. Possível redução no pH do sistema, em virtude da neutralização de álcalis livres que reagem com o solo, permite ao íon cálcio reagir com os silicatos e/ou aluminatos distribuídos, formando agentes cimentícios insolúveis, silicatos e/ou aluminatos de cálcio hidratados, mais NaOH livres, que poderá ainda interagir com sílica e alumina não atacada, incrementando novo ciclo, se possível.

Resumindo, o inicial ataque da sílica e/ou alumina produz silicatos e/ou aluminatos de sódio intermediários, que reagem subsequentemente com íons cálcio formando gels cimentícios insolúveis, silicatos e/ou aluminatos de cálcio mais NaOH, que fica livre para reagir com sílica ou alumina que não reagiu anteriormente (remanescente). De uma maneira generalizada, o NaOH eleva a quantidade de íons hidróxila (OH^-) e acelera a possível reação pozolânica em decorrência da formação de compostos com sílica e alumina do solo, que ficam em disponibilidade para formação de gels cimentícios.

Thornburn e Mura (1969) indicaram a utilização de NaOH como sendo o álcali (base) que tem sido estudado com mais frequência. O seu uso tem sido referenciado como aditivo secundário para acelerar tratamentos de solos com cimento, cal, cal-cinza volante e como aditivo primário para os solos vermelhos tropicais.

Segundo Wissa e Halaby (1964), nos sistemas de solo-cal acrescidos de NaOH a atividade do íon cálcio foi reduzida e a concentração do íon OH^- (ou outro ânion) foi bastante elevada, bem como o valor do pH do sistema. A formação do silicato de cálcio insolúvel foi retardada devido a suspensão do íon Ca^{2+} e a formação de silicatos alcalinos foi acelerada (alto valor do pH). O volume de geis hidratados, silicatos e/ou aluminatos foi aumentado ficando este material cimentício disponível para difusão nos poros como fluido.

Segundo Chadda e Uppal (1971), as lateritas são ricas em alumínio, pois em pesquisas de estabilizações de solos mostraram que a adição de gel de alumínio ao solo aumentava a resistência, e sabendo que a alumina foi solúvel em solução de NaOH, foi vantagem adicionar NaOH a solos vermelhos tropicais, transformando o alumina dos solos vermelhos tropicais em $\text{Al}(\text{OH})_3$ que é um material gelatinoso com efeito cimentante. No entanto, nesta pesquisa, ao invés de compactar o solo vermelho tropical somente com água, acrescentou NaOH no qual se notou um considerável ganho de resistência.

O'Flaherty (1974) indicou que os compostos químicos de NaOH têm também sido usados como aditivos primários, sendo que o aluminato de sódio (NaAl_2), que é instável, hidrolisa-se e forma o hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$) que é gelatinoso e tem efeito cimentante. Este ao ser acrescido de NaOH, que permanece disponível para novas interações com a alumina e/ou sílica, pode solubilizar e formar com o alcali adicionais compostos cimentícios.

Kozan e Feniwek (1965) afirmaram que o uso de NaOH como aditivo secundário para mistura de solo-cal provocam variações no valor da $\gamma_{sm\acute{a}x}$ do sistema. Handy (1960) também se referiu, no solo-cimento, a elevação da $\gamma_{sm\acute{a}x}$ do sistema, em virtude do uso de pequenas quantidades de NaOH.

Duarte (1961), utilizando solução de NaOH para impermeabilização de canais para irrigação no Sul do Brasil, com teores de 0,45% e 0,60%, conseguiu reduzir as perdas por infiltrações dos canais em 16,0%, sugerindo que devem ser umedecidos os canais antes da aplicação das soluções. Resultados semelhantes foram obtidos na Universidade de Viçosa (MG).

Brandl (1981) informou que em muitos casos ao adicionar NaOH ao sistema solo-cal, ocorreu uma diminuição na floculação, mudanças na densidade e redução no índice de plasticidade. Caso o teor de umidade seja alto e a dosagem de NaOH exceder de 3,0% a 5,0% há perigo de um indesejável aumento de volume.

Numa pesquisa realizada por Ladd, Moh e Lambe (1960), eles tinham o objetivo de examinar o uso de NaOH para fazer a cal ser mais efetiva em relação aos solos não plásticos e melhorar o tempo de cura das misturas com argilas plásticas. O NaOH foi expresso em normalidade da ordem de 0,25N a 2N, de acordo com Lambe (1959) em pesquisa utilizando NaOH em solo-cimento, no qual 1N correspondia a 2,0% da concentração, baseado no peso do solo seco. Estes autores realizando ensaios de solo-cal de puros minerais, como por exemplo o quartzo em períodos de cura de 4, 7 e 28 dias, o NaOH foi um efetivo aditivo para todos os períodos

de cura, mostrando ótimos resultados de resistência os quais tendem a crescer com o tempo. Com o quartzo-bentonita, e cal o efeito do NaOH é similar ao quartzo cal, enquanto que no sistema caulinita-cal, o NaOH mostrou-se menos eficiente do que os demais compostos sódicos ensaiados. Resumindo nesta pesquisa o NaOH provocou um aumento médio de resistência de 70 a 90psi aos 7 e 28 dias de cura respectivamente.

Lambe et alli (1960) pesquisaram solos de países temperados com cimento e NaOH e observaram que a resistência do solo-cimento pode ser retardada pela alta concentração de NaOH, mas um completo benefício poderá ocorrer após longo tempo de cura. A concentração ótima de NaOH para pequeno tempo de cura deve ser mínima para obter o máximo benefício da adição de NaOH, e o grau de efetividade do aditivo NaOH diminui com a plasticidade e teor de matéria orgânica.

Ingles e Metcalf (1973) relataram como desvantagem o uso de NaOH como aditivo primário em virtude dele ser extremamente corrosivo, podendo causar irritações na pele de quem o usa somente com leve contato, bem como devido a sua carbonatação na presença de dióxido de carbono do ar reduzindo a sua reatividade.

Thornburn e Mura (1968) referiam-se às limitações quanto ao uso de NaOH em sistema solo-cal devido à temperatura de cura, que segundo Mateos e Davidson (1961) poderiam modificar bastante os valores da resistência final. Também referiam-se como não econômico teores de NaOH maiores que aproximadamente 1,0%, bem como possíveis causadores de ruptura por expansão do sistema se

adicionado em teores muito elevados.

Aflitos (1981), pesquisando sobre a influência de aditivos químicos em propriedades selecionadas e de engenharia de solos vermelhos tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, verificou que o tempo de cura do sistema solo-cal foi reduzido com a adição de NaOH. A tensão de ruptura do sistema solo-cal foi elevada com a adição de NaOH bem como a adição de NaOH acelerou a reação entre o solo e a cal.

Finalmente, verificou-se que NaOH pode ser utilizado como aditivo primário ou secundário em solos. Em sua utilização como aditivo primário observou-se a sua ação como agente impermeabilizante e formador de compostos cimentícios adicionais e ao ser utilizado como aditivo secundário acelerou estabilizações de solos com cimento e cal, reduziu a plasticidade e formou compostos cimentícios adicionais. Ficando evidenciado a ação beneficiadora produzida aos solos com adição do composto sódico NaOH.

2.7 - Solo-Silicato de Sódio e Solo-Cal + Silicato de Sódio

Os silicatos de sódio têm sido utilizados para melhorar os solos a mais de um século. Johann Van Fuchs, o pioneiro no desenvolvimento comercial de silicatos solúveis, proposto no século XIX, afirmava que os silicatos solúveis podiam ser usados como agente de pedras artificiais, reconhecendo a reação de silicatos com compostos cálcicos.

Lambe, Michaels, Moh (1960) e Moh (1962) apresentaram

hipoteses para explicar os efeitos benéficos obtidos pelo tratamento de solo-cimento com silicato de sódio. Estes autores fizeram uma alusão ao mecanismo da reação de solo-cimento adicionada de silicato de sódio, afirmando que a maioria dos solos de granulometria fina contém grandes quantidades de sílica cristalina, feldspato ou argilomineral coloidal em alto grau de subdivisão. Estes compostos são inerentemente ácidos na natureza, sendo que frações de sílica e alumina presentes nos solos são altamente hidratados e estão situados nas superfícies das partículas. Quando o cimento é misturado ao solos finos e a água, a hidratação do cimento leva inicialmente a formação da cal, silicato de cálcio e aluminato de cálcio. No entanto, reações de cal com sílica e alumina reativa dos solos levam a formação adicional de silicato de sódio e aluminato, reduzindo o valor do pH com subsequente hidrólise de silicato de cálcio e aluminato. A reação final, produto do solo e cimento, é formada por alumina hidratada e silicato de cálcio gel de baixa relação Ca:Si. A formação de gel de silicato de cálcio cimentício encontrava-se numa zona delgada ao redor de cada partícula de cimento. Este fato acontece quando a concentração de cimento é bastante para permitir que estas zonas de formação de gel tornassem adequadamente estabilizados. Quando o silicato de sódio é adicionado ao solo-cimento, a concentração do íon cálcio na solução é fortemente diminuída, a supressão de concentração de cálcio retarda a precipitação do gel de silicato de cálcio insolúvel, enquanto que a elevação do pH acelera o ataque da sílica ou alumina ou de ambos e há ainda a formação de solução de

silicato alcalino ou de aluminato ou de ambos. Considerando que a reação de cálcio com distribuição de silicato álcali ou aluminato resulta na formação de mistura de silicato de sódio-cal e gastificação. Há desta forma, uma melhor distribuição do gel cimentício, generalizando assim a influência benéfica dos compostos de álcali metal nos solos-cimento.

Em torno de 1915, fazendo-se pesquisas sobre injeções utilizando silicato de sódio, Albert François, engenheiro francês constatou que a eficácia de argamassa de cimento pode ser aumentada com injeção de alumínio acompanhada por silicato de sódio. Aparentemente o gel resultante cobriu superfícies granulares e causou grande penetração da argamassa de cimento.

Posteriormente, o engenheiro holandês Hugo Joosten, injetou silicato de sódio como argamassa no interior de fundações profundas e, acompanhada com injeção de cloreto de cálcio, a combinação destas duas formas químicas de geis insolúveis preencheram os vazios do solo. Segundo Riedel (1952) os métodos de injeções com modificações têm sido extensivamente usados em trabalhos de fundações e no controle de vazão. Num outro método de injeção, no qual a reação de precipitação é muito lenta, usa-se soluções contendo silicato de sódio e bicarbonato de sódio. Segundo Hurley e Thornburn (1965), o ingrediente básico de todos os processos de injeções de silicato são as soluções de silicato de sódio na água. Essas soluções contêm NaOH livre e ácido silícico coloidal. Tais autores afirmam que o processo de injeção com silicato de sódio é limitado para solos no qual os vazios são bastante grandes para permitir a penetração de massa sobre

pressão razoável. Sendo simples explicar porque silicato de sódio difere largamente seus efeitos nos vários solos. Em solos grossos, a quantidade de sílica reativa presente é pequena e a quantidade de gel de silicato cimentício que pode contribuir para o solo é limitada, sendo a sílica reativa deficiente compensada por presença de silicato de sódio industrial. Nos solos finos, como argila, existe a presença de grande quantidade de sílica reativa, o fato da neutralização do álcali para tais solos ocorre com maior rapidez. Com solos de intermediária finura, tal como silte, a sílica reativa é adequada e a razão da reação do solo álcali é lenta.

De acordo com o Chemical Grouting (1957), a vida útil de injeção de silicato quando o solo é tratado e exposto ao ar ou a água subterrânea pode ser limitada.

Numerosas patentes apresentam variações do processo de injeção de silicato isolado o qual é sujeito a muitas incertezas. Um dos mais importantes processos é a seleção de proporções corretas na mistura para completar a formação de gel, no qual o tempo apropriado variou com a natureza do solo que é tratado.

Segundo Terzaghi (1947), três processos podem levar a deterioração da sílica gel contida nos vazios de solos tratados, as contrações devido à espontânea expulsão de água (sineresis), contração devido à dissecação e à solução ou à erosão pela água subterrânea.

Analisando o silicato de sódio como um estabilizador

primário de solos, Laws e Page (1946) encontram que os silicatos de sódio reagem com vários argilo minerais comumente presentes em solos, reagindo com sais de cálcio solúveis em solução aquosa para formarem compostos gelatinosos insolúveis de silicatos de sódio que são agentes cimentícios. Para estes autores o efeito da adição de silicato de sódio para solos apropriados tem a finalidade de aumentar o estado de agregação e a resistência, e de decrescer o índice de plasticidade e deslizamento. Estes encontraram que argilas de baixas atividades, tal como caulinita, reagem favoravelmente com silicato de sódio, no entanto a estabilidade de argila de alta atividade, tal como montmorilonita, pode ser prejudicada pela adição de silicato de sódio. Os autores realizando ensaios com minerais argilosos puros e com outros vários solos também, observaram melhoramento na resistência quando estes solos são tratados com várias quantidades de silicato de sódio acima de 3,5%.

Segundo Ruff e Davidson (1961), a exata natureza da ação das ligações de silicatos de cálcio hidratados tiveram sujeitos a muitas investigações mas ainda não são completamente explicadas, e concluem que aumentando o teor de silicato de sódio, resulta em significativo aumento do teor ótimo da mistura. Estes pesquisadores ensaiando solos plásticos do Kansan, onde o argilomineral predominante é a montmorilonita e a cal hidratada é a calcítica, utilizados em combinações com 5 diferentes tipos de silicato de sódio, verificaram que a $\delta_{smáx}$ e W_{ot} variaram dependendo do tipo de silicato usado e do tempo de cura. Também realizaram ensaios preliminares com solo de Kansan combinado com

6% de cal calcítica e várias quantidades de silicato. Nesta sucessão de ensaios verificou-se que todos os silicatos utilizados exceto o ortosilicato produziram RCS aos 7 dias de cura mais do que o dobro do valor do solo tratado com 6% de cal sozinho.

Mainfort (1945), reportando um número de resultados em ensaios de solos arenosos, argila-arenosa e argila-siltosa tratadas com várias quantidades de silicatos de sódio isoladamente e em combinações com outros componentes químicos, mostra que os resultados com solos de granulometria fina não é espetacular, mas é satisfatório. Subsequentemente fez-se tratamento com essas amostras de solo utilizando 4% de silicato de sódio e 2% de aluminato de sódio, proporcionando relativamente altas resistências para as amostras de solos arenosos e também beneficia a resistência a molhagem. O lado favorável da reação do silicato de sódio com solos finos é confirmada por Mainfort (1952).

Vail (1952) utiliza silicato de sódio sempre com vários outros materiais, orgânico e inorgânico, resistente a temperatura relativamente alta e poroso o bastante para permitir o escape de ar e outros gases durante o processo de fundição.

Morey e Lange (1959) observam que o aumento da relação $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ causa um decréscimo na resistência do material e que o aumento na percentagem de silicato de sódio causa aumento na resistência. Também observam que a adição de 1% de bentonita ao silicato de sódio-areia causa um acréscimo na resistência de

cerca de 10% mais do que a mistura silicato-areia isolada.

Vários autores como Woollorton (1955), Sherwood (1961), Murray (1952 e 1955), Buchanan (1952) e Zhmoko, Drozd e Iosileva (1966), mencionam o melhoramento na resistência dos solos tratados com silicato de sódio, com ou sem outros aditivos, mas apresentam poucos ou nenhum dado experimental.

Droga e Uppal (1958) afirmam que quantidades de silicato de sódio tão baixas quanto 2,5% com areias e solos arenosos produzem resistência de 1500psi, excedendo aquelas obtidas com os mesmos solos a 10% de cimento em que a resistência é de 1300psi. Durante os ensaios realizados pelos autores em solos arenosos tratados com silicato de sódio encontram que são mais resistentes a abrasão do que cimento-areia, no qual também conduzem ensaios de durabilidade em que as amostras são imersas em água por 5h e seca a 70°C por 42h. As amostras contendo 10% de argila e 90% de areia, quando tratadas com 1% de silicato de sódio, resistem a 12 ciclos dos tais ensaios e mostram perda de peso de somente 3,5% a 4,0%, em ensaios com altas percentagens de silicato de sódio na mistura levam a rápida desintegração após a imersão. Amostras com altas percentagens de argila não dão resultados animadores.

Em estudo realizado por Lambe (1955) com silte argiloso de Massachusetts verificou-se que as reações de estabilização com silicato de sódio não são suficientemente rápidas para promover estabilidade imediatamente após a imersão em água, depois da compactação.

Estudos de estabilização química de solos conduzidos por

Lambe (1959) indicam inicialmente que carbonatos de magnésio em combinação com silicato de sódio é um dos aditivos químicos mais efetivos. Paralelamente, é avaliado o efeito do silicato de sódio, com ou sem precipitantes na σ_{\max} dos solos compactados, no qual prepara amostras em molde de miniatura Havard pela compactação estática à cerca de 900psi de pressão as quais apresentam variações na σ_{\max} dependendo do tipo e da quantidade de silicato de sódio utilizado.

Em estudos posteriores, Lambe (1960) confirma a eficácia do silicato de sódio-carbonato de magnésio com silte argiloso de Massachusetts (LL=20%, IP=6%) apresentando resistência acima de 600psi a 6,4% de aditivo total, no entanto a resistência do silte de New Hampshire (LL=28% e IP=8%) aumenta para 365psi com 8,5% de aditivo total e o "loess" de Vicksburg (LL=41%, IP=15%) aumenta para 235psi a 9% de aditivo total.

Embora os ensaios de durabilidade sejam insuficientes, estes aparecem para justificar a conclusão de Sherwood (1961) em que o silicato de sódio quando usado isoladamente é adequado somente para utilização de solos arenosos em climas moderados.

Vários autores como Sherwood (1961), Lambe, Michaels e Moh (1960), Moh (1962) e Moh, Lambe e Michaels (1962) indicam que o silicato de sódio especialmente o metasilicato de sódio é o mais eficaz no aumento da resistência de solo-cimento de solos arenosos. Ensaios realizados por estes autores, com a areia de Wisconsin estabilizados com 10% de cimento e acrescida de 1% de metasilicato de sódio, apresentam aumento no valor de RCS de

40psi para 290psi em 1 dia de cura e de 230psi para 440psi para 7 dias de cura. Resultados similares são obtidos de ensaios de silte de New Hampshire e "loess" de Vicksburg quando estabilizados com 5% de cimento e 1% de metasilicato de sódio, produzem resistências comparáveis aquelas estabilizadas com 10% de cimento. Segundo Moh (1962) vários solos argilosos estabilizados com cimento mostram pequeno ou nenhum melhoramento com o aditivo silicato de sódio, embora algumas argilas tivessem alto teor de carbonatos. Estas mostram alguns melhoramentos com o metasilicato de sódio, mas outros aditivos de sódio são mais efetivos, concluindo que sais de ácidos fracos não são efetivos como aditivos para estabilização de cimento em solos fortemente argilosos. Moh, Lambe e Michaels (1962) realizaram uma série de ensaios com % de cimento em silte de New Hampshire, no qual vários tipos de silicatos de sódio são colocados na proporção de 0,54% a 2,80% concluindo que existe uma ótima relação $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$ de cerca de 1:2 nas concentrações empregadas. Alta relação de concentração de silicato de sódio tem alta resistência inicial, mas baixa resistência final; por outro lado relações com alto teor de sílica tendem a retardar o processo de cimentação.

Experiências têm mostrado que a cal é atrativa economicamente como estabilizante para solos argilosos. Embora o silicato de sódio sozinho ou em combinação com a maioria dos precipitantes não seja usual para estabilização de solos argilosos. Existem algumas razões para acreditar que o silicato de sódio como aditivo secundário no sistema solo-cal possa ser benéfico.

Katti e Kulkarni (1962) estudando o efeito de silicato de sódio a várias percentagens de cal em solos argilosos, nos quais os teores de silicato de sódio usados são de 0,5% e 1,0%, constatam que o teor ótimo de cal para períodos de cura acima de 28 dias é de 8%, e em concentrações de cal abaixo de 8% o silicato de sódio aumenta a resistência cerca de 100%.

Ladd, Moh e Lambe (1960) encontram que o silicato de sódio é o aditivo sódico mais efetivo no sistema solo-cal, aumentando a resistência aos 7 dias de cura de 100psi para 200psi, enquanto que aos 28 dias de cura a resistência é aumentada de 150psi para 520psi, sendo mais efetivo com siltes e argilas caulinitas, sendo que sua eficácia cresce com o aumento da concentração do aditivo secundário.

Em resumo, verifica-se que os silicatos de sódio têm sido utilizados em métodos de injeções, sendo extensivamente usados em trabalhos de fundações e no controle de vazão. Analisando o silicato de sódio como um estabilizador primário é observado o seu benefício no aumento do estado de agregação e resistência, e decréscimo na plasticidade e deslizamento, enquanto que observando o silicato de sódio como aditivo secundário em estabilização de solos verifica-se uma melhor distribuição do gel cimentício, influenciando de forma benéfica a adição dos compostos de Alkali metal nos solos-cimento e solos-cal.

CAPITULO 3

MATERIAIS E METODOS

3.1 - Introdução

Neste capítulo, tratar-se-á do detalhamento relativo aos materiais e métodos utilizados nesta pesquisa. Os materiais são compostos por amostras de solos vermelhos tropicais, provenientes da região Nordeste do Brasil. Na descrição deste solo será apresentado dados relativos as propriedades caracterizantes e de engenharia com base nos trabalhos de Borba (1981), Lima (1983), Diniz (1984) e Ferreira e Lucena (1984). Utilizou-se também cal hidratada comercial, hidróxido de sódio industrial e silicato de sódio industrial. Os métodos de ensaios constantes de normas da ABNT serão apenas citados, enquanto que os métodos não constantes desta normalização serão descritos detalhadamente.

3.2 - Materiais

3.2.1 - Solos

Foram selecionadas 10 amostras de solos vermelhos tropicais provenientes dos estados da Paraíba, Piauí e Maranhão. O critério para seleção destas amostras foi baseado na formação geológica, pedologia e clima, como também na viabilidade de utilização do potencial destas ocorrências em obras de engenharia.

Estas jazidas receberam a denominação da localidade mais próxima, como mostra a Tabela 1A. A coleta de amostras

efetuou-se no horizonte B, devido ao horizonte A apresentar húmus e/ou material fino de cor escura (expurgo). Os constituintes amorfos, composição química, análise granulométrica, limites de Atterberg e áreas específicas, resistência a compressão simples de solos lateríticos no estado natural em que os resultados das RCS não deferiram para os tempos de cura de 7, 28 e 60 dias, e das propriedades características selecionadas de solos lateríticos encontram-se nas Tabelas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

A seguir serão apresentadas algumas características de cada jazida.

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE JOÃO PESSOA - JPPB-PB

1) Localização

Jazida existente no Conjunto dos Bancários, a 2 km do Campus Universitário, sentido Campus-Cabo Branco.

2) Formação Geológica

A jazida está inserida na Formação Barreiros. Esta formação é constituída de sedimentos pouco consolidados, de estratificação predominantemente horizontal, afossilíferos, apresentando sedimentos areno-argilosos, argila-arenoso, arenoso, argila de coloração variada, intercalada muitas vezes com camadas de seixos rolados e concreções lateríticas. Esta formação é datada do Terciário. (SUDENE, 1972)

3) Pedologia

De acordo com o "Mapa Exploratório - Reconhecimento de

Solos" do estado da Paraíba, do Ministério da Agricultura, o solos da região é classificado como PV5 (Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico, de textura arenosa). (SUDENE, 1972)

4) Clima e Precipitação

Pode-se classificar bioclimaticamente a região segundo a classificação de Gaussen, como sendo xerotérica, sub-região mesomediterrânea de caráter atenuado (3cTh), denominado com índice xerotérmico variando de 40 a 100, apresentando de 3 a 4 meses secos. A precipitação anual média é de 1720mm.

(SUDENE, 1972 e 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; goetita; hematita; anatásio e matéria orgânica.

Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE SAPE-MARI - SPPB-PB

1) Localização

A jazida Sapê-Mari está localizada na margem direita da rodovia PB-055, a 6km da cidade de Mari, no sentido Sapê-Mari.

2) Formação Geológica

A jazida está inserida na formação Barreiros. Esta formação é constituída de sedimentos pouco consolidados, de

extratificação predominantemente horizontal, afossilíferos, apresentando sedimentos areno-argiloso, argila de coloração variada, intercalado muitas vezes por camadas de seixos rolados e concreções lateríticas. Esta formação é datada do Terciário. (SUDENE, 1972)

3) Pedologia

De acordo com o "Mapa Exploratório - Reconhecimento de Solos" do estado da Paraíba, do Ministério da Agricultura o solo da região é classificado como PV6 (Podzólico Vermelho Amarelo) com a proeminente textura argilosa. (SUDENE, 1972)

4) Clima e Precipitação

Bioclimaticamente segundo a classificação de Gaussen, pode-se classificar a região onde está a jazida de Sapé-Mari como sendo xerotérica, sub-grupo mesomediterrâneo de caráter atenuado (3cTh), denominado no Brasil como Mediterrâneo ou Nordeste quente de seca atenuada, com índice xerotérmico variando de 40 a 100, apresentando de 3 a 4 meses de secas. A precipitação anual média na região é de 1100mm. (SUDENE, 1972 e 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; goetita; anatásio e matéria orgânica. Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERISTICAS DA JAZIDA DE TEIXEIRA - TEPB-PB

1) Localização

A jazida está localizada na margem esquerda da rodovia PB-306, ligando Teixeira a Princesa Isabel, a 8km da cidade de Teixeira.

2) Formação Geológica

A jazida está inserida na Formação "Serra dos Martins". Esta formação consiste de sedimentos argilosos, arenitos ferruginosos fortemente cimentados por limonite, além de gangas lateríticos, repousando sobre terrenos Pré-Cambriano. A formação é datada do Terciário. (SUDENE, 1972)

3) Pedologia

De acordo com o "Mapa Exploratório - Reconhecimento de Solos" do estado da Paraíba, do Ministério da Agricultura o solo da região é classificado como RE3 (Regosol Eutrófico e Solos Litólicos Eutróficos) apresentando textura arenosa.

4) Clima e Precipitação

Bioclimaticamente segundo a classificação de Gaussen, a região de Teixeira é classificada como xeroquimênica, sub-grupo termoxeroquimênica de caráter acentuado (4aTh), denominado no Brasil como tropical quente de seca acentuada, apresentando Índice xerotérmico variando de 150 a 200, sendo a temperatura do mês mais frio superior a 15⁰C.

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; mica; microclina; anatásio e matéria orgânica. Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE AREIA - ARPB-PB

1) Localização

A jazida está localizada na margem esquerda da rodovia PB-079 a 5 km da cidade de Remigio.

2) Formação Geológica

A jazida está inserida no Pré-Cambriano (CD), representado na Paraíba por Gnaisses e Migmatitos. SUDENE (1972)

3) Pedologia

De acordo com o "Mapa Exploratório - Reconhecimento de Solos" do estado da Paraíba, do Ministério da Agricultura, o solo da região é classificado com o PE 13 com a textura argilosa e solos litólicos eutróficos com a preeminente textura média.

(SUDENE, 1972)

4) Clima e Precipitação

Bioclimaticamente segundo a classificação de Gaussen, pode-se classificar a região onde está a jazida de areia como sendo xerotérica, sub-grupo sub-mediterrâneo de caráter de transição (3bTh), denominado de Brasil Mediterrâneo ou Nordeste Sub-Seco, com índice xerotérmico variando de 0 a 40, apresentando

de 1 a 2 meses secos. A precipitação média anual da região é de 1000mm. (SUDENE, 1972 e 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; goetita; anatásio e matéria orgânica. Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE BURITI DOS LOPES - BUPI-PI

1) Localização

A região de Buriti dos Lopes apresenta grande número de jazidas de solos vermelhos tropicais, optando-se para coleta do material por um corte localizado à margem esquerda da rodovia BR-345, a 3,5km da cidade de Buriti dos Lopes no sentido Buriti dos Lopes - Parnaíba.

2) Formação Geológica

A região é relativamente plana, estando inserida na Formação Pimenteiros. Esta formação inicia-se com folhelhos de cores variadas, predominando o vermelho cinza escuro, micáceos, contendo nódulos e leitos eolíticos piritosos. Intercalações de arenitos e siltitos, que variam de branco a cinza-claro, finos e são comuns principalmente no topo da formação. Sua espessura é variável em torno de 1,0 a 2,0m, sendo da idade do Devoniano Inferior.

3) Pedologia

De acordo com o Mapa Exploratório de Solos, elaborado pelo DNPM para o Programa de Integração Nacional e a SUDENE, o solo desta região é classificado como AQ5 (Areias Quartzosas, Latossolo Vermelho-amarelo Eutrófico e Possolo Eutrófico). Os solos que constituem esta unidade de mapeamento são de textura arenosa e média, profundos e fortemente drenados de estrutura maciça. (DNPM, 1974)

4) Clima e Precipitação

A região de Buriti dos Lopes, segundo a classificação de Gaussen é classificada bioclimaticamente como Xeroquimênica de caráter médio (4bTh), denominada no Brasil como tropical quente de seca média, o qual apresenta estação seca de 5 a 6 meses e índice xerotérmico variando entre 100 a 150, sendo a temperatura do mês mais frio superior a 15^oC. A precipitação média na região é de 1200mm. (SUDENE, 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita, quartzo e goetita.

Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE PICOS - PIPI-PI

1) Localização

A jazida de Picos fica localizada a 2,4 km na rodovia

BR-316, margem direita sentido Picos-Teresina, km 291, tendo sido estudada pelo 3^o Batalhão de Engenharia do Exército nos serviços de pavimentação da BR-316.

2) Formação Geológica

A região, onde está localizada a jazida fica inserida na formação denominada "Cabeças". Esta formação constitui-se de arenitos de cores claras, brancos e cinza-amarelados, às vezes chegando a vermelho médio e grosseiro frequentemente conglomerático e muito pouco argiloso. O arenito é geralmente de aspecto maciço pela estratificação muito espessa, sendo comuns as estratificações cruzadas bem desenvolvidas. Em certos locais, apresenta intercalações de siltitos e arenitos finos, laminados também de cores claras. A sua espessura média é estimada em torno de 3 metros. A sua idade data do Devoniano Médio e Superior. (DNPM, 1974 e SUDENE, 1977)

3) Pedologia

De acordo com o Mapa Exploratório de Solos, elaborado pelo DNPM para o Programa de Integração Nacional e a SUDENE, o solo desta região é classificado como CL4 (Solos Concrecionários Lateríticos, Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, Solos Litólicos). Esta unidade de mapeamento é constituída de solos de textura argilosa e média, medianamente profundos e rasos, bem e fortemente drenados, estrutura indiscriminada e maciça.

(DNPM, 1974)

4) Clima e Precipitação

Bioclimaticamente a região de Picos pode ser classificada como pertencente à região Xeroquimênica, sub-região termoxeroquimênica de caráter acentuado (4aTh), denominada no Brasil de tropical quente de seca acentuada, com valor de Índice xerotérmico variando de 150 a 200 e apresentando de 7 a 8 meses secos. A precipitação média na região é de 650mm.

(DNPM, 1974 e SUDENE, 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise química) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; goetita; hematita; anatásio e matéria orgânica. Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE GILBUÉS - GIPI-PI

1) Localização

A região de Gilbués é constituída de um solo bastante avermelhado, que na região, recebe o nome de "Tauá", tendo sido utilizado em misturas com solo arenoso em algumas estradas vicinais.

O material para este estudo foi retirado de um corte localizado a 3,5km da cidade de Gilbués, à margem esquerda da BR-135 no sentido Gilbués-Correntes.

2) Formação Geológica

A região apresenta relevo suavemente ondulado, estando inserida na formação geológica denominada "Pedra de Fogo". Esta

formação se constitui de arenitos, siltitos e folhelhos intercalados em proporções variadas, enquanto que os siltitos e folhelhos são de tonalidade vermelho-púrpura verde, pouco micáceo e baixa fissibilidade. Leitos e bancos de sílex estão presentes em vários níveis extratigráficos; calcários brancos, leitos de gipsita e aragonita são mais frequentes no topo da formação. A idade perniana da formação foi determinada com base em Psaronius e posteriormente confirmada por outras macro ou microfósseis.

(DNPM, 1974 e SUDENE, 1977)

3) Pedologia

De acordo com o Mapa Exploratório de Solos elaborados pelo DNPM para o Programa de Integração Nacional e a SUDENE, o solo desta região é classificado como B1 (Solo Laterítico Bruno Avermelhado Eutrófico e Brunizen Avermelhado). Esta unidade de mapeamento é constituída de solos de textura argilosa, medianamente profundos, bem drenados, estrutura em blocos.

(DNPM, 1974)

4) Clima e Precipitação

A região de Gilbuês é classificada segundo a classificação proposta por Gaussen, como xeroquimênica, sub-região termoxeroquimênica, de caráter médio (4bTh) denominado no Brasil como tropical quente de seca média tendo o índice xerotérmico variando de 100 a 150, sendo a temperatura do mês mais frio superior a 15⁰C e apresentando de 3 a 4 meses secos.

O clima xeroquimênico é caracterizado por um período seco nas estações mais quentes e um período úmido bem acentuado e

nitidamente marcado por fortes chuvas de verão. A precipitação na região é de 900mm por ano. (DNPM, 1974 e SUDENE, 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; microclina; serécita; goetita e hematita. Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE CASTELO - CAPI-PI

1) Localização

A jazida denominada Castelo está localizada à 5km da cidade de Castelo no Piauí, à margem direita da rodovia na direção Teresina-Castelo.

2) Formação Geológica

A região, onde está localizada a jazida fica inserida na Formação Cabeças. Esta formação constitui-se de arenitos de cores claras, brancos e cinza-amarelados, às vezes chegando a vermelho, médio e grosseiro, frequentemente conglomerático e muito pouco argiloso. O arenito é geralmente de aspecto maciço pela estratificações cruzadas bem desenvolvidas. Em certos locais apresenta intercalações de siltitos e arenitos finos, laminados, também de cores claras. A sua espessura média é estimada em torno de 300m. A sua idade Devoniana Média e Superior.

(DNPM, 1974 e SUDENE, 1977)

3) Pedologia

De acordo com o Mapa Exploratório de Solos elaborado pelo DNPM para o Programa de Integração Nacional, o solo desta região é classificado como AQ5 (Areias Quartzosos e Solos Litólicos). Esta unidade de mapeamento é constituída de solos de textura arenosa e indiscriminada, profundos e rasos, bem drenados, estrutura em grãos simples e indiscriminada.

(DNPM, 1974)

4) Clima e Precipitação

A região de Castelo no Piauí, segundo a classificação de Gaussen, é classificada bioclimaticamente como xeroquimênica, sub-região termoxeroquimênica de caráter médio (4bTh), denominada no Brasil como tropical quente de seca média, o qual apresenta estação seca de 5 a 6 meses e índice xerotérmico variando entre 100 a 150, sendo a temperatura do mês mais frio superior a 15°C. A precipitação média anual é de 1200mm. (SUDENE, 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; goetita e anatásio.

Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE PRESIDENTE DUTRA - PDMA-MA

1) Localização

A jazida denominada Presidente Dutra está localizada a

300m da rodovia BR-336, km 185 à margem direita no sentido Presidente Dutra - Teresina. É uma jazida que ocupa grande área, porém de pequena profundidade como todas as jazidas da região.

2) Formação Geológica

A região é plana, sendo coberta por babuçal, estando inserida na formação geológica "Itapecuru". Esta formação constitui-se quase exclusivamente de arenitos de cores diversas, predominando o cinza, róseo e vermelho, finos, argilosos, com estratificações cruzadas e silicações principalmente no topo. Intercalaram-se leitos de siltitos e folhelhos cinza-esverdeados e avermelhados.

Em certas áreas aparece um conglomerado basal contendo seixos de basalto alterado. Com base em fósseis, a Formação Itapecuru foi adotada como Cretáceo Inferior.

(DNPM, 1974 e SUDENE, 1977)

3) Pedologia

De acordo com o Mapa Exploratório de Solos pelo DNPM para o Programa de Integração Nacional e a SUDENE, o solo da jazida de Presidente Dutra pode ser classificado como PA6 (Podzólico Vermelho-amarelo equivalente eutrófico, vertissolo e solos hidromórficos indiscriminados). Esta unidade de mapeamento é constituída de solos de textura argilosa e indiscriminada, profundos e medianamente profundos, mal drenados, estrutura em blocos subangulares, angulares e indiscriminados. (DNPM, 1974)

4) Clima e Precipitação

Bioclimaticamente, utilizando a classificação de Gaussen, pode-se classificar a região onde está inserida a jazida de Presidente Dutra no grupo (4cTh), região Xeroquimênica, sub-região termoxeroquimênica de caráter atenuado, com o valor do Índice xerotérmico variando de 40 a 100 sendo a temperatura do mês mais frio superior a 15^oC apresentando de 3 a 4 meses secos. A precipitação média anual na região é de 1200mm.

(SUDENE, 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; hematita, anatásio e matéria orgânica. Ferreira e Lucena (1984)

CARACTERÍSTICAS DA JAZIDA DE VARGEM GRANDE - VGMA-MA

1) Localização

A jazida denominada Vargem Grande está localizada na margem esquerda da rodovia BR-222, sentido Itapecuru - Vargem Grande a 22,3km da cidade de Itapecuru-Mirim.

2) Formação Geológica

A região está inserida na Formação Itapecuru. Esta formação constitui-se quase exclusivamente de arenitos de cores diversas, predominando o cinza, róseo e vermelho, finos, argilosas, com estratificações cruzadas e silificações principalmente no topo. Intercalando-se leitos de siltitos e

folhelhos cinza-esverdeados e avermelhados. Em certas áreas aparece um conglomerado basal contendo seixos de basalto alterado. Com base em fósseis, a formação Itapecuru foi dotada como Cretáceo Inferior. (DNPM, 1974 e SUDENE, 1977)

3) Pedologia

De acordo com o Mapa Exploratório de Solos elaborado pelo DNPM para o Programa de Integração Nacional e a SUDENE, o solo da jazida de Vargem Grande pode ser classificado como CL3 (Solos Concrecionários Lateríticos, Podzólico Vermelho Amarelo, textura argilosa e areia quartzosas). Esta unidade de mapeamento é constituída de solos de textura argilosa e indiscriminada, medianamente profundos e rasos, bem drenados e estrutura indiscriminada. (DNPM, 1974)

4) Clima e Precipitação

Bioclimaticamente, utilizando a classificação de Gaussen, pode-se classificar a região onde está inserida a jazida de Vargem Grande no grupo (4cTh), região xeroquimênica de caráter atenuado denominado no Brasil de tropical quente de seca atenuada, com o valor do índice xerotérmico variando de 40 a 100 sendo a temperatura do mês mais frio superior a 15^oC e apresentando 3 a 4 meses secos. A precipitação média anual na região é de 1700mm. (SUDENE, 1974)

5) Composição Mineralógica

As análises mineralógicas (composição química, difração de raios-X, microscopia eletrônica e análise térmica) indicam que

a amostra é constituída por: caulinita; quartzo; goetita; anatásio e matéria orgânica. Ferreira e Lucena (1984)

3.2.2 - Cal

Foi utilizada uma cal hidratada Ca(OH)_2 conhecida comercialmente como "Calcigra", fabricada pela Companhia Industrial Gramame, localizada na BR-101 - sul - km 13, Alhandra, Paraíba. Sua composição química encontra-se na Tabela 10. Trata-se de uma cal calcítica.

A cal chegou ao laboratório acondicionada em sacos de papel "Kraft", com três camadas, tendo sido retirada da embalagem original e colocada em sacos plásticos que foram lacrados em seguida, a fim de não alterar as propriedades da mesma.

3.2.3 - Hidróxido de Sódio

Foi utilizado um hidróxido de sódio industrial (NaOH) conhecido comercialmente como "Soda Caústica GIANT", fabricada pelo Laboratório Anakol S/A, localizado na Via Anchieta, km 14, São Bernardo do Campo, São Paulo, com textura em escamas, acondicionado em recipientes herméticos.

3.2.4 - Silicato de Sódio

Foi utilizado um silicato de sódio industrial conhecido comercialmente por silicato de sódio "Meia Lua" ALC C - 112 fabricado pela ICI Brasil S/A, localizado à rua Verbo Divino, 1356, São Paulo-SP. Sua composição química encontra-se na Tabela 11.

3.3 - Métodos

3.3.1 - Preparação das Amostras

Resistência à Compressão Simples (R.C.S.).

Para determinação da RCS, as amostras foram secas em temperatura ambiente, posteriormente beneficiadas em peneira ABNT 9.5mm (3/8") e logo em seguida determinada a umidade higroscópica e colocada em sacos plásticos. A opção por partículas inferiores a 9.5mm é para minimizar o efeito na variação da RCS. (Queiroz de Carvalho, 1981). A sequência das operações executadas na pesquisa é mostrada na Figura 1. A descrição detalhada da metodologia está apresentada no Apêndice B.

3.3.2 - Cal

Os ensaios de caracterização da cal utilizada na pesquisa foram executados de acordo com o método da ABNT (1977) MB-342. Os resultados reportados são a média aritmética de duas determinações, que não diferem de mais de 3% dos valores obtidos isoladamente. Os resultados são apresentados em percentagem com 4 algarismos significativos.

3.3.3 - Resistência à Compressão Simples

Os ensaios de RCS foram realizados com solos vermelhos tropicais aditivados com 6% de cal, em massa, colocados em um misturador até completa homogeneização, conforme pesquisa anterior de Neves (1989) e acrescidos de aditivos secundários do

tipo hidróxido de sódio e silicato de sódio, no qual estes aditivos eram acrescidos a água de moldagem em percentuais de 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% e 4,0% (*) de acordo com pesquisa de Ladd, Moh e Lambe (1960), utilizados separadamente, curados em câmara úmida por períodos de 7, 28 e 60 dias a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, compactados estaticamente com uma energia correspondente ao Proctor Normal na máxima massa específica aparente seca e na umidade ótima de compactação dinâmica. Os parâmetros de compactação são os indicados por Neves (1989).

Para cada teor de aditivo secundário foram preparados 9 corpos de prova, sendo 3 para cada tempo de cura. Após o período de cura foi analisado o comportamento de cada corpo de prova, através do ensaio de RCS, utilizando-se para tal uma prensa universal, marca Pavitest, provida de anel dinamométrico com velocidade de deslocamento de 0,127cm/min.

Os resultados referem-se a média aritmética de três determinações não diferindo mais de 10% dos valores isolados. Aqueles valores que se afastaram mais de 10% da média, foram abandonados, sendo nova média determinada para os restantes dos valores, se não fosse possível nova média, o ensaio seria repetido. Os resultados são apresentados em kPa com precisão de décimos.

(*) Estudos pilotos realizados em que a percentagem era maior de 2,5%, pequenas modificações foram observadas, optando-se por valores da ordem de 4,0%.

3.3.4 - Análise Estatística

Utilizando o programa estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versão H (Nie et alli, 1975), foram realizadas diversas análises através de correlações simples lineares, com um propósito de esclarecer melhor o mecanismo de reação do solo-cal com os aditivos secundários NaOH e silicato de sódio, baseados nas diversas características dos solos estudados.

RCS do solo-cal com RCS do solo-cal + NaOH;

RCS do solo-cal + NaOH com área específica de Blaine;

RCS do solo-cal + NaOH com área específica de Fisher;

RCS do solo-cal + NaOH com % de SiO_2 amorfa;

RCS do solo-cal + NaOH com % de Al_2O_3 amorfa;

RCS do solo-cal + NaOH com % de Fe_2O_3 amorfo;

RCS do solo-cal + NaOH com % de material amorfo;

RCS do solo-cal + NaOH com % de SiO_2 mais % Al_2O_3 amorfas;

RCS do solo-cal + NaOH com % SiO_2 mais % de Fe_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + NaOH com % Al_2O_3 mais % de Fe_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + NaOH com % de caulinita;

RCS do solo-cal + NaOH com % caulinita mais % SiO_2 amorfa;

RCS do solo-cal + NaOH com % caulinita mais % Al_2O_3 amorfa;

RCS do solo-cal + NaOH com % caulinita mais % Fe_2O_3 amorfo;

RCS do solo-cal + NaOH com % de caulinita mais % de SiO_2 e % de Al_2O_3 amorfas;

RCS do solo-cal + NaOH com % de caulinita mais % de Al_2O_3 e Fe_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + NaOH com % de caulinita mais % de SiO_2 , % de Fe_2O_3 e % de Al_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + NaOH com % de SiO_2 total;

RCS do solo-cal + NaOH com % de Al_2O_3 total;

RCS do solo-cal + NaOH com % de Fe_2O_3 total;

RCS do solo-cal + NaOH com % de diâmetro $< 2\mu\text{m}$;

RCS do solo-cal + NaOH com % de matéria orgânica;

RCS do solo-cal + NaOH com índice de atividade IA(0,42);

RCS do solo-cal + NaOH com índice de atividade IA(0,002);

RCS do solo-cal + NaOH com CTC pH 7;

RCS do solo-cal + NaOH com CTC pH 10;

RCS do solo-cal + NaOH com DCTC.

RCS do solo-cal com RCS do solo-cal + silicato de sódio;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com área específica de Blaine;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com área específica de Fisher;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de SiO_2 amorfa;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de Al_2O_3 amorfa;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de Fe_2O_3 amorfo;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de material amorfo;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de SiO_2 mais % Al_2O_3 amorfas;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % SiO_2 mais % de Fe_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % Al_2O_3 mais % de Fe_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de caulinita;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % caulinita mais % SiO_2 amorfa;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % caulinita mais % Al_2O_3 amorfa;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % caulinita mais % Fe_2O_3 amorfo;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de caulinita mais

% de SiO_2 e % de Al_2O_3 amorfas;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de caulinita mais % de Al_2O_3 e Fe_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de caulinita mais % de SiO_2 , % de Fe_2O_3 e % de Al_2O_3 amorfos;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de SiO_2 total;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de Al_2O_3 total;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de Fe_2O_3 total;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de diâmetro < 2 μm ;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com % de matéria orgânica;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com índice de atividade IA(0,42);

RCS do solo-cal + silicato de sódio com índice de atividade IA(0,002);

RCS do solo-cal + silicato de sódio com CTC pH 7;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com CTC pH 10;

RCS do solo-cal + silicato de sódio com DCTC.

Nas equações utilizadas, y e x são respectivamente as variáveis dependentes e independentes, "a" a inclinação da reta e "b" a interseção com o eixo y. A significância da correlação verifica-se através do coeficiente de correlação (r) e do nível de significância (α). O coeficiente de correlação expressa o grau de relacionamento entre as duas variáveis. O nível de significância é um valor que representa o nível para o qual a correlação entre duas variáveis foi significativo. Foi convencionalizado, segundo Queiroz de Carvalho (1979), considerar um resultado significativo se a probabilidade calculada for menor do que 0,05 e considerar um resultado altamente significativo se a probabilidade calculada for menor do que 0,01.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Introdução

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos para RCS com 6% de cal e aditivados com 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% e 4,0% de NaOH e silicato de sódio de forma separada, curados por períodos de 7, 28 e 60 dias em câmara úmida com 100% de umidade relativa a uma temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Como também os resultados das análises estatísticas através de correlações simples lineares.

4.2 - Efeitos dos Aditivos na RCS

Os resultados de RCS para os solos tratados com NaOH encontram-se nas Tabelas 12 e 13.

Os resultados de RCS para os solos tratados com silicato de sódio encontram-se nas Tabelas 14 e 15.

Os valores de RCS após adição de NaOH são colocados em forma gráfica nas Figuras 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 e 19.

Os valores de RCS após adição de silicato de sódio são colocados em forma gráfica nas Figuras 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20.

Os resultados das RCS-cal dos solos JPPB e PDMA apresentaram valores elevados. Nestes casos resolveu-se adotar os valores de 0,5% de aditivos secundários no lugar do valor das RCS-cal, no entanto estes solos serão apresentados com variações de percentuais até 2,5%.

Solo-Cal com Aditivo Sódicos (Hidróxido e Silicato de Sódio)

SOLO JPPB

NaOH - Na Tabela 12 e Figura 1, observa-se que as adições de 2,5% de NaOH com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu as maiores elevações na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de 47% ($R=219,0\text{kPa}$); 66,0% ($R=371,0\text{kPa}$) e 162,0% ($R=627,0\text{kPa}$). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 292% ($R'=462,1\text{kPa}$); 488% ($R'=770,1\text{kPa}$) e 540% ($R'=856,1\text{kPa}$).

Silicato de Sódio - Na Tabela 14 e Figura 2, observa-se que as adições de 2,5% de silicato de sódio com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu as maiores elevações na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de: 85% ($R=328,0\text{kPa}$); 88% ($R=467,0\text{kPa}$) e 76% ($R=443,0\text{kPa}$). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 342% ($R'=531,1\text{kPa}$); 532% ($R'=840,1\text{kPa}$) e 550% ($R'=868,1\text{kPa}$).

Fazendo-se um comparativo dos RCS aditivos com NaOH e silicato de sódio do solo JPPB, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera os acréscimos proporcionados pelo NaOH aos 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 3,0% ($\Theta =23,0\text{kPa}$); 7,0% ($\Theta =70,0\text{kPa}$) e 1,0% ($\Theta =12,0\text{kPa}$).

SOLO SPPB

NaOH - Na Tabela 12 e Figura 3, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de NaOH nos 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatórias na RCS do solo aditivado com 6,0% de cal respectivamente: 31%(R=65,2kPa); 74%(R=214,0kPa) e 59%(R=169,3kPa). Enquanto que comparado a RCS do solo natural obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 346%(R'=185,6kPa); 719%(R'=441,6kPa) e 644%(R'=395,6kPa).

Silicato de Sódio - Na Tabela 14 e Figura 4, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de silicato aos 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatórias na RCS do solo aditivado com 6,0% de cal respectivamente de: 232%(R=485,2kPa); 172%(R=487,0kPa) e 176%(R=506,3kPa). Enquanto que comparado a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 1030%(R'=632,6kPa); 1180%(R'=724,6kPa) e 1193%(R'=732,6kPa).

Fazendo-se um comparativo das RCS aditivadas com NaOH e silicato de sódio do solo SPPB, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera os acréscimos proporcionado pelo NaOH aos 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 154%(Θ =420,0kPa); 56%(Θ =283,0kPa) e 74%(Θ =337,0kPa).

SOLO TEPB

NaOH - Na Tabela 12 e na Figura 5, observa-se que, embora

a adição de 4,0% apresenta o maior valor de RCS, as adições de 2,0% de NaOH com 7 dias de cura e de 2,5% de NaOH com 28 e 60 dias de cura promoveram elevações satisfatórias no valor da RCS do solo aditivado com 6,0% de cal respectivamente de: 30% (R=105,0kPa); 6,0% (R=35,0kPa) e 34% (R=158,0kPa). Enquanto que comparado com RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 121% (R'=248,0kPa); 198% (R'=405,0kPa) e 204% (R'=418,0kPa).

Silicato de Sódio - Na Tabela 14 e na Figura 6, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresenta o maior valor de RCS, as adições de 2,5% de silicato de sódio com 7 e 60 dias de cura e de 2,0% de silicato de sódio com 28 dias de cura promoveram elevações satisfatórias no valor da RCS do solo aditivado com 6,0% de cal respectivamente de: 78% (R=273,0kPa); 93% (R=431,0kPa) e 36% (R=210,0kPa). Enquanto que comparado se com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente de: 203% (R'=416,0kPa); 238% (R'=580,0kPa) e 337% (R'=691,0kPa).

Fazendo-se um comparativo das RCS com 6,0% de cal aditivado com NaOH e silicato de sódio no solo TEPB, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera os acréscimos promovidos pelo NaOH nos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente da seguinte forma: 37% ($\theta = 168,0kPa$); 1,0% ($\theta = 6,0kPa$) e 44% ($\theta = 273,0kPa$).

SOLO ARPB

NaOH - Na Tabela 12 e Figura 7, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresenta o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de NaOH com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de: 97%(R=233,3kPa); 56%(R=197,3kPa) e 136%(R=382,2kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 274%(R'=427,2kPa); 288%(R'=449,2kPa) e 427%(R'=666,2kPa).

Silicato de Sódio - Na Tabela 14 e Figura 8, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de silicato de sódio com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de: 73%(R=217,3kPa); 43%(R=168,3kPa) e 65%(R=226,8kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 229%(R'=357,2kPa); 256%(R'=400,2kPa) e 269%(R'=419,2kPa).

Fazendo-se um comparativo das RCS aditivada com NaOH e silicato de sódio do solo ARPB, observa-se que a adição de 2,5% de NaOH supera os acréscimos proporcionados pelo silicato de sódio aos 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 3,0%(θ =16,0kPa); 5,0%(θ =19,0kPa) e 27%(θ =156,0kPa).

SOLO BUPI

NaOH - Na Tabela 12 e Figura 9, observa-se que, embora a

adição de 4,0% apresenta o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de NaOH com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente: 289%(R=629,9kPa); 410%(R=1159,9kPa) e 471%(R=1.126,3kPa). Enquanto que comparado com RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 429%(R'=687,8kPa); 800%(R'=1282,2kPa) e 752%(R'=1204,8kPa).

Silicato de Sódio - Na Tabela 14 e Figura 10, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de silicato de sódio aos 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente: 336%(R=733,9kPa); 307%(R=869,9kPa) e 323%(R=771,3kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 494%(R'=791,8kPa); 623%(R'=998,8kPa) e 530%(R'=849,9kPa).

Fazendo-se um comparativo dos RCS aditivados com NaOH e silicato de sódio do solo BUPI, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera o NaOH nos 7 dias de cura, enquanto que 2,5% de NaOH supera os acréscimos proporcionados pelo silicato de sódio aos 28 e 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 12%(θ =104,0kPa); 24%(θ =284,0kPa) e 35%(θ =355,0kPa).

SOLO PIPI

NaOH - Na Tabela 13 e Figura 11, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de NaOH com 7, 28 e 60 dias de cura, promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizados com 6,0% de cal respectivamente de: 214%(R=226,4kPa); 209%(R=126,5kPa) e 126%(R=203,3kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 615%(R'=285,6kPa); 656%(R'=304,6kPa) e 684%(R'=317,6kPa).

Silicato de Sódio - Na Tabela 15 e Figura 12, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de silicato de sódio com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente: 211%(R=222,4kPa); 194%(R=220,5kPa) e 139%(R=224,3kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 628%(R'=291,6kPa); 684%(R'=317,6kPa) e 729%(R'=338,6kPa).

Fazendo-se um comparativo das RCS aditivada com NaOH e silicato de sódio do solo PIPI, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera os acréscimos proporcionados pelo NaOH aos 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 2,0%(Θ =6,0kPa); 4,0%(Θ =13,0kPa) e 6,0%(Θ =21,0kPa).

SOLO GIPI

NaOH - Na Tabela 13 e Figura 13, observa-se que, embora a

adição de 4,0% apresenta o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de NaOH com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de: 6,0% (R=12,7kPa); 161% (R=371,6kPa) e 72% (R=318,3kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 112% (R'=115,8kPa); 483% (R'=498,8kPa) e 634% (R'=654,8kPa).

Silicato de Sódio - Na Tabela 15 e Figura 14, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresenta o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de silicato de sódio com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de: 113% (R=232,7kPa); 130% (R=299,6kPa) e 33% (R=145,3kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 325% (R'=335,8kPa); 413% (R'=426,8kPa) e 467% (R'=481,8kPa).

Fazendo-se um comparativo das RCS aditivador com NaOH e silicato de sódio do solo GIPI, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera o NaOH nos dias 7 dias de cura, enquanto que 2,5% de NaOH supera os acréscimos proporcionando pelo silicato de sódio aos 28 e 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 99% (Θ =220,0kPa); 13% (Θ =72,0kPa) e 29% (Θ =173,0kPa).

SOLO CAPI

NaOH - Na Tabela 13 e Figura 15, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de NaOH com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de: 8,0% ($R=26,0\text{kPa}$); 23% ($R=119,3\text{kPa}$) e 22% ($R=130,8\text{kPa}$). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 112% ($R'=188,0\text{kPa}$); 280% ($R'=471,0\text{kPa}$) e 335% ($R'=563,0\text{kPa}$).

Silicato de Sódio - Na Tabela 15 e Figura 16, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de silicato de sódio com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatorias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente de: 221% ($R=730,0\text{kPa}$); 107% ($R=558,3\text{kPa}$) e 77% ($R=465,8\text{kPa}$). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 530% ($R'=892,0\text{kPa}$); 542% ($R'=642,0\text{kPa}$) e 534% ($R'=898,0\text{kPa}$).

Fazendo-se um comparativo dos RCS aditivador com NaOH e silicato de sódio do solo CAPI, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera os acréscimos proporcionados pelo NaOH nos 7, 28 e 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 197% ($\theta =710,0\text{kPa}$); 69% ($\theta =439,0\text{kPa}$) e 46% ($\theta =335,0\text{kPa}$).

SOLO PDMA

NaOH - Na Tabela 13 e Figura 17, observa-se que a adição de 2,5% de NaOH com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu as maiores elevações no valor da RCS do solo aditivado com 6,0% de cal respectivamente de: 203%(R=391,0kPa); 97%(R=465,0kPa) e 353%(R=718,0kPa). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 147%(R'=347,7kPa); 300%(R'=709,0kPa) e 290%(R'=685,0kPa).

Silicato de Sódio - Na Tabela 15 e Figura 18, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio com 7, 28 e 60 dias de cura promoveu as maiores elevações no valor da RCS do solo aditivado com 6,0% de cal respectivamente de: 49%(R=239,0kPa); 99%(R=410,0kPa) e 86%(R=423kPa). Enquanto que comparado com RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 206%(R'=487,0kPa); 249%(R'=588,0kPa) e 288%(R'=681,0kPa).

Fazendo-se um comparativo das RCS com 6,0% de cal aditivados com NaOH e silicato de sódio dos solos PDMA, observa-se que a adição de 2,5% de silicato de sódio supera os acréscimos promovidos aos 7 dias de cura e que a adição de 2,5% de NaOH supera os acréscimos promovidos pelo silicato de sódio aos 28 e 60 dias de cura respectivamente da seguinte forma: 24%(Θ =140,0kPa); 14%(Θ =121,0kPa) e 1,0%(Θ =4,0kPa).

SOLO VGMA

NaOH - Na Tabela 13 e Figura 19, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,5% de NaOH aos 7, 28 e 60 dias de cura promoveu elevações satisfatórias na RCS do solo aditivado com 6,0% de cal respectivamente de: 201% ($R=476,4\text{kPa}$); 170% ($R=609,4\text{kPa}$) e 301% ($R=865,3\text{kPa}$). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 414% ($R'=574,5\text{kPa}$); 598% ($R'=829,5\text{kPa}$) e 732% ($R'=1014,5\text{kPa}$).

Silicato de Sódio - Na Tabela 15 e Figura 20, observa-se que, embora a adição de 4,0% apresente o maior valor de RCS, a adição de 2,0% de silicato de sódio com 7 e 28 dias de cura e 2,5% de silicato de sódio com 60 dias de cura promoveram elevações satisfatórias na RCS do solo estabilizado com 6,0% de cal respectivamente: 287% ($R=678,4\text{kPa}$); 247% ($R=719,4\text{kPa}$) e 321% ($R=922,3\text{kPa}$). Enquanto que comparado com a RCS do solo natural, obteve-se os seguintes acréscimos aos 7, 28 e 60 dias de cura respectivamente: 487% ($R'=674,5\text{kPa}$); 678% ($R'=939,5\text{kPa}$) e 773% ($R'=1071,5\text{kPa}$).

Fazendo-se um comparativo das RCS aditivadas com NaOH e silicato de sódio do solo VGMA, observa-se que a adição de 2,0% de silicato de sódio supera o NaOH nos 7 e 28 dias de cura. Enquanto que 2,5% de silicato de sódio supera os acréscimos proporcionados pelo NaOH aos 60 dias de cura, respectivamente da seguinte forma: 60% ($\theta =370,0\text{kPa}$); 34% ($\theta =314,0\text{kPa}$) e 5,0% ($\theta =57,0\text{kPa}$).

De uma forma genérica observou-se que a RCS do solo-cal + composto sódicos (silicato de sódio e NaOH) comparados com a RCS do solo-cal apresentaram os maiores crescimentos da RCS aos 7 dias de cura, sendo que os maiores valores da RCS correspondem aos períodos de cura de 28 e 60 dias. Foi observado também que para a maioria dos solos aditivados com silicato de sódio e NaOH, os maiores valores da RCS correspondem a um percentual na ordem de 2,5% à 4,0% dos aditivos secundários. Fazendo-se uma análise comparativa entre os dados de RCS dos aditivos secundários, NaOH e silicato de sódio aplicado aos solos vermelhos tropicais estabilizados com 6,0% de cal, verificou-se que o aditivo silicato de sódio manteve-se de forma constantemente mais efetivo na maioria dos solos estudados.

4.3 - Análise Estatística

Os resultados das análises estatísticas, através de correlações lineares simples, indicam a variável dependente (x), a variável independente (y), o coeficiente de correlação simples (r) e o nível de significância (α). As propriedades dos solos nestas tabelas são identificados pelos códigos enumerados a seguir:

BLA - áreas específicas determinadas pelo permeâmetro de Blaine.
(Neves, 1989)

FIS - áreas específicas determinadas pelo permeâmetro de Fisher.
(Neves, 1989)

RCSS - resistência à compressão simples com 6,0% de cal aos 7 dias de cura.
(Neves, 1989)

- RCSV - resistência à compressão simples com 6,0% de cal aos 28 dias de cura. (Neves,1989)
- RCSC - resistência à compressão simples com 6,0% de cal aos 60 dias de cura. (Neves,1989)
- RCSHS - resistência à compressão simples com 6,0% de cal e NaOH aos 7 dias de cura.
- RCSHV - resistência à compressão simples com 6,0% de cal e NaOH aos 28 dias de cura.
- RCSHC - resistência à compressão simples com 6,0% de cal e NaOH aos 60 dias de cura.
- RCSSS - resistência à compressão simples com 6,0% de cal e silicato de sódio aos 7 dias de cura.
- RCSSV - resistência à compressão simples com 6,0% de cal e silicato de sódio aos 28 dias de cura.
- RCSSC - resistência à compressão simples com 6,0% de cal e silicato de sódio aos 60 dias de cura.
- CAU - percentagem de caulinita. (Borba,1981)
- SICAU - percentagem de sílica amorfa mais percentagem de caulinita. (Borba,1981)
- ALCAU - percentagem de alumina amorfa mais percentagem de caulinita. (Borba,1981)
- FCAU - percentagem de ferro amorfo mais percentagem de caulinita. (Borba,1981)
- SIALC - percentagem de sílica alumina amorfas mais percentagem de caulinita. (Borba,1981)
- SIFEC - percentagem de sílica e ferro amorfos mais percentagem de caulinita. (Borba,1981)
- ALFEC - percentagem de alumina e ferro amorfos mais percentagem de caulinita. (Borba,1981)
- ASFC - percentagem de alumina, sílica e ferro amorfos mais percentagem de caulinita. (Borba,1981)

A Tabela 16 mostra os resultados das correlações lineares simples significativas entre áreas específicas de Blaine e Fisher com as RCS-Cal + NaOH, sendo que os melhores correlações foram

representados pelas seguintes equações respectivamente:

$$Y = -0,040 + 0,004x \quad (r=0,82 \text{ e } \alpha(\%)=0,30)$$

e

$$Y = 0,132 + 0,002x \quad (r=0,71 \text{ e } \alpha(\%)=2,10).$$

As correlações com a área específica de Blaine e RCS-Cal + NaOH aparecem em maior quantidade. Não foi verificada correlações lineares simples significativas entre áreas específicas de Blaine e Fisher com as RCS-Cal + silicato de sódio.

A Tabela 17 apresenta os resultados das correlações lineares simples significativas entre as RCS-Cal com RCS-Cal + NaOH e RCS-Cal + silicato de sódio, sendo que as melhores correlações foram representados pelos seguintes equações respectivamente:

$$Y = 63,04 + 0,82x \quad (r=0,81 \text{ e } \alpha(\%)=0,4)$$

e

$$Y = 92,24 + 1,17x \quad (r=0,64 \text{ e } \alpha(\%)=4,6)$$

As correlações significativas com a RCS-Cal + NaOH aparecem em maior quantidade.

A Tabela 18 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + NaOH e a percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$$Y = 15,24 + 0,02x \quad (r=0,80 \text{ e } \alpha(\%)=1,00).$$

Enquanto que na Tabela 19, apresentam-se as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio e a percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$$Y = 60,51 + 0,02x \quad (r=0,86 \text{ e } \alpha(\%)=0,10),$$

estas correlações aparecem em maior quantidade.

A Tabela 20 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio com a percentagem de sílica amorfa mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação

$$Y = 68,91 + 0,02x \quad (r=0,89 \text{ e } \alpha(\%)=0,05).$$

Enquanto que na Tabela 21, apresentam-se as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + NaOH com a percentagem de sílica amorfa mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação

$$Y = 71,38 + 0,04x \quad (r=0,85 \text{ e } \alpha(\%)=0,20),$$

estas correlações aparecem em menor quantidade.

A Tabela 22 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio com a percentagem de alumina amorfa mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação $Y = 63,39 + 0,02x$ ($r=0,80$ e $\alpha(\%)=0,50$).

Enquanto que na Tabela 23, apresentam-se as correlações lineares simples entre a RCS-Cal + NaOH com a percentagem de alumina amorfa mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação

$$Y = 66,19 + 0,03x \quad (r=0,85 \text{ e } \alpha(\%)=0,10),$$

estas correlações aparecem em menor quantidade.

A Tabela 24 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio com a percentagem de ferro amorfo mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação

$$Y = 55,99 + 0,03x \quad (r=0,86 \text{ e } \alpha(\%)=0,10).$$

Enquanto que na Tabela 25, apresentam-se as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + NaOH com a percentagem de ferro amorfo mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$$Y = 52,36 + 0,02x \quad (r=0,82 \text{ e } \alpha(\%)=0,30),$$

estas correlações aparecem em menor quantidade.

A Tabela 26 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio com a percentagem de sílica e alumina amorfos mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$$Y = 75,35 + 0,03x \quad (r=0,86 \text{ e } \alpha(\%)=0,13).$$

Enquanto que na Tabela 27, apresentam-se as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + NaOH com a percentagem de sílica e alumina amorfos mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$$Y = 77,46 + 0,03x \quad (r=0,83 \text{ e } \alpha(\%)=0,30),$$

estas correlações aparecem em menor quantidade.

A Tabela 28 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio com a percentagem de sílica e ferro amorfos mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$$Y = 68,42 + 0,03x \quad (r=0,84 \text{ e } \alpha(\%)=0,35).$$

Enquanto que na Tabela 29, apresentam-se as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + NaOH com a percentagem

de sílica e ferro amorfos mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$Y = 64,72 + 0,01x$ ($r=0,83$ e $\alpha(\%)=0,40$), estas correlações aparecem em menor quantidade.

A Tabela 30 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio com a percentagem de alumina e ferro amorfos mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi apresentada pela seguinte equação:

$$Y = 64,33 + 0,03x \text{ (} r=0,86 \text{ e } \alpha(\%)=0,10\text{).}$$

Enquanto que a Tabela 31, apresentam-se as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + NaOH com a percentagem de alumina e ferro amorfos mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$Y = 66,78 + 0,04x$ ($r=0,82$ e $\alpha(\%)=0,40$), estas correlações aparecem em menor quantidade.

A Tabela 32 apresenta as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + silicato de sódio com a percentagem de alumina, sílica e ferro amorfos mais percentagem de alumina, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação:

$$Y = 76,24 + 0,02x \text{ (} r=0,82 \text{ e } \alpha(\%)=0,40\text{).}$$

Enquanto que na Tabela 33, apresentam-se as correlações lineares simples significativas entre a RCS-Cal + NaOH com a percentagem de alumina, sílica e ferro amorfos mais percentagem de caulinita, sendo que a melhor correlação foi representada pela seguinte equação: $Y = 79,24 + 0,02x$ ($r=0,80$ e $\alpha(\%)=0,50$), estas

correlações aparecem em menor quantidade.

Para análise estatística linear simples entre a percentagem de sílica amorfa, percentagem de alumina amorfa, percentagem de ferro amorfo, percentagem de material amorfo, percentagem de sílica mais alumina amorfas, percentagens de sílica e ferro amorfos, percentagem de alumina e ferro amorfos, percentagem de sílica total, percentagem de ferro total, percentagem de alumina total, percentagem de diâmetro < 2 μ m, percentagem de matéria orgânica, índice de atividade IA(0,42), índice de atividade IA(0,002), CTC pH10, CTC pH47 e a DCTC com as RCS do solo-Cal + NaOH e as RCS do solo=Cal + silicato de sódio, não foram obtidas correlações significativas.

Finalmente, observa-se através dos resultados das correlações lineares simples realizadas que a presença da percentagem de caulinita dos solos é marcante, sendo ainda reforçada pela presença de materiais amorfos no acréscimo do valor das RCS dos solos estudados, exercendo maior influência aos solos tratados com silicato de sódio. Ficando evidenciado desta forma que nos solos estudados detentores de maior percentagem de caulinita e materiais amorfos obtem-se um melhoramento das propriedades mecânicas dos solos através do incremento do valor da RCS, confirmando informações que foram obtidas na revisão bibliográfica.

A partir dos resultados constantes da revisão bibliográfica e do tratamento estatístico pode-se tentar modelar o mecanismo de

ação dos aditivos secundários no decorrer deste trabalho.

HIDROXIDO DE SÓDIO - sendo uma base forte, o hidróxido de sódio ataca a superfície do argilo-mineral caulinita e reage com a sílica e alumina do solo produzindo silicatos e/ou aluminatos de sódio que reagem subsequentemente com ions cálcio formando geis cimentícios insolúveis. Os silicatos e/ou aluminatos de cálcio irão se juntar a estrutura desordenada e mais reativa dos amorfos de sílica, alumina e ferro, já existente na matriz original. Estes compostos de estrutura amorfa irão reagir mais facilmente com a cal (reação pozolâmica) sendo obtidos produtos cimentícios adicionais.

SILICATO DE SÓDIO - Quando o silicato de sódio é adicionado ao solo-cal a concentração do ion cálcio na solução é diminuída, enquanto que a elevação do pH acelera o ataque da sílica ou alumina ou ambos e há a formação de solução de silicato alcalino ou aluminato ou ambos. O silicato de sódio (solução sólida) apresenta afinidade química com a superfície do argilo-mineral caulinita e dos amorfos sílica, alumina e ferro, resultando na formação de mistura de silicato de sódio e gastificação. Há desta forma, uma melhor distribuição do gel cimentício. Deve-se ressaltar que o silicato de sódio por si só apresenta também comportamento de um agente cimentício.

CONCLUSÕES

Foram estudados no decorrer deste trabalho, dez solos vermelhos tropicais provenientes da região Nordeste do Brasil estabilizados com 6% de cal aditivado com hidróxido e silicato de sódio, utilizados separadamente, em várias concentrações e tempos de cura, com a finalidade de uma melhor avaliação no estudo de estabilização química de solos.

Podendo-se concluir que os aditivos secundários silicato e hidróxido de sódio beneficiaram as propriedades mecânicas dos solos vermelhos tropicais-cal, proporcionando um substancial aumento no valor das RCS, com um teor mais adequado em torno de 2,0% à 4,0% e apresentando um maior incremento no valor da RCS aos 28 e 60 dias de cura. Apesar da efetividade dos dois aditivos secundários ao sistema solo vermelho tropical-cal, verificou-se que o aditivo silicato de sódio apresentou melhores resultados.

Quanto ao estudo estatístico realizado através de correlações lineares simples, bons resultados foram obtidos nas correlações lineares simples entre as RCS dos solos-cal + composto sódicos (silicato e hidróxido de sódio) em relação à percentagem de caulinita isolada e em relação à percentagem de caulinita mais materiais amorfos. Proporcionando, desta forma, subsídios para que se pudesse explicar melhor o mecanismo de ação dos aditivos secundários, sendo destacada a importância do teor

de caulinita e de materiais amorfos, que após interação química com os aditivos principais e secundários resultam numa melhoria das propriedades mecânicas dos solos estudados.

Deve-se salientar a importância da influência destes aditivos secundários silicato e hidróxido de sódio nas propriedades dos solos vermelhos tropicais de forma a proporcionar uma nova alternativa para sua estabilização com uma tecnologia operacional simples.

SUGESTOES PARA PESQUISAS POSTERIORES

Considerando o caráter preliminar desta pesquisa e suas limitações, há necessidade do desenvolvimento de pesquisas com o intuito de otimizar tópicos pouco detalhados, podendo-se dentre outros enumerar os seguintes:

a) Prosseguir os estudos para o sistema solo-cal + compostos sódicos (silicato e hidróxido de sódio), retringindo os teores de aditivo em torno do percentual mais eficaz, tendo por finalidade um melhor conhecimento do comportamento resultante da adição de NaOH e silicato de sódio a solos aditivados com cal;

b) Verificar a influência de NaOH e silicato de sódio em misturas de solo-cal para confecção de tijolos para construção de baixo custo;

c) Verificar a influência dos aditivos secundários incluídos nesta pesquisa no CBR com e sem imersão;

d) Verificar a influência dos aditivos secundários incluídos nesta pesquisa na tensão de tração indireta e módulo de resiliência;

e) Prosseguir os estudos para o sistema solo-cal + compostos sódicos (NaOH e silicato de sódio), utilizados concomitantemente, tendo por finalidade um melhor entendimento do comportamento resultante da adição de NaOH e silicato de sódio a solos-cal;

f) Desenvolver estudos similares ao presente nesta pesquisa, para novos solos objetivando generalizações mais significativas;

g) Prosseguir o estudo para o sistema solo laterítico aditivados com outros tipos de compostos sódicos.

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

1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Ensaio de Caracterização da Cal, MB-342, 1977.
2. AFLITOS, A.O., Influência da Aditivos Químicos em Propriedades Seleccionadas e de Engenharia de Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil, Dissertação de Mestrado, CCT/UFPB, Campina Grande, Paraíba, 1981.
3. ARULANANDAM, K., Classification, Engineering Properties and Behavior of Lateritic, University of California, Davis, USA, 1969.
4. BISZEWSKI, E., The Effect of Mixing Time on the Strength of Clayey Gravel Stabilised with Hydrated Lime. Proc. 3rd. Regional Africa Conf. Mech. Found. Engineering, Salisburg, Vol 1, pp. 63-67, 1983.
5. BORBA, S.M.C., Estudo das Propriedades Químicas e Mineralógicas de Solos Vermelhos Tropicais do Norte e Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFRS, 1981.
6. BOTELHO DA COSTA, J.V., FRANCO, E.P.C. e RICARDO, R.P., Generalized Soil Map of Angola (2nd Approximation), VIIIth International Congress of Soil Science, 1964.
7. BUCHANAN, F.A., Journey from Madras through the Countries of Mysore, Konara and Malabar, Vol. 2, East Indian Company, pp. 436-461, London, 1807.
8. BUCKANAM, S.J., Military Application of Soil Stabilization, Proc. Conf. on Soil Stabilization, MIT, Cambridge, pp. 295, 1952.
9. CABRERA, J.G. e NWAKANMA, C.A., Pozzoline Activity and Mechanism of Reaction of Red Tropical Soil-Lime Systems, Conference on Low-Volume Roads, Iowa, 1979a.
10. CABRERA, J.G. e NWAKANMA, C.A., Reaction Products and Strength of Red Tropical Soil-lime System, Cement and Concrete Research, 1979.

11. CHADDA, L.R. e UPPAL, H.L., Laboratory Studies on the Chemical Stabilization of Laterites in Road Construction, Roads and Road Construction, 1971.
12. CHEMICAL GROUTING, Jour Soil Mech. and Found. Div., ASCE, Vol.83, 1957.
13. CLARE, K.E., Airfield Construction on Overeas Soils, Parte 1 in the Formation, Classification and Characteristic of Tropical Soils, Proceedings of the British Institute of Civil Engineering, Vol.8, pp. 211-231, 1957.
14. COSTA, C.V.R. et alli, Estudo de Solos Lateríticos Estabilizados com Cal, 21a. Reunião Anual de Pavimentação, 1986.
15. DEERE, D.V. e PATTON, F.D., Slope Stability in Residual Soils, Proceedings of the 4th Panamanian Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, 1971.
16. DE GRAFT - JOHNSON, J.W.S., BHATIA, M.S. e GIDIGASU, M.D., The Engineering Characteristics of the Laterite Grovels of Ghana, Proceedings of the Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, VII ICSMFE, Vol.1, pp. 117-128, 1969.
17. DE GRAFT - JOHNSON, J.W.S. e BHATIA, M.S., Engineering Properties of Lateritic Soils, General Report, Proc. Spec. Session Engineering Prop. Lateritic Soils, 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engineering, Vol.2, pp. 13-43, 1970.
18. D'MOORE, J.L., Soil Map of Africa Scale 1 to 5.000.000", Explanatory Monograph. Comm. for Technology Co-op in Africa, Publication No. 93, pp. 205, 1964.
19. DIAMOND, S., e KINTER, E.R., Mechanics of Soil-Line Stabilization - An Interpretive Review, HRR, No.92, pp. 83-102, 1965.
20. DINIZ, A.A., Resistência à Compressão Simples para os Solos Lateríticos, Avaliação da Metodologia e Influência dos Efeitos de Temperatura de Secagem e Energia Mecânica, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, 1984.

21. DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem-Brasil, Materiais para Obras Rodoviárias, Métodos e Instrução de Ensaio, 1977.
22. DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral, Levantamento de Recursos Naturais, Projeto RADAM, 1974.
23. DOGRA, R.N. e UPPAL, I.S., Chemical Stabilization of Sand and Sandy Soils, Laboratory Experiments with Sodium Silicate as Stabilizer, Journ. Indian. Roads Congress. Vol.23, No.1, pp. 161-172, 1958.
24. DUARTE, E.F., Impermeabilização de Canais em Terra com Solução de Soda Caústica, Revista Agronomia, Vol.19, N^{os} 3 e 4, pp. 5-13, 1961.
25. DU PONT DE MEMOURS AND COMPANY, Technical and Information Bulletin, 1964.
26. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa do Algodão, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1980.
27. FERREIRA, H.N., Conceito de Laterita na Engenharia Civil, Luanda, 1963.
28. FERREIRA, H.C., e LUCENA, F.B., Utilização de Solos Vermelhos Tropicais (Solos Lateríticos) como Matéria Prima para Uso em Cerâmica Vermelha ou Estrutural, Cerâmica 30(169), 7, 1984.
29. FERRO, J.G.O., Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos Lateríticos, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB, Campina Grande, Paraíba, 1976.
30. GIDIGASU, M.D., Lateritic and Soil Engineering, Developments in Geotechnical Engineering, 9 Elsevier Scient. Pub. Co., Amsterdam, p.554, 1976.
31. GIDIGASU, M.D., Identification of Problem Laterite Soil in Highway Engineering: A Review, Building and Road Research Institute, Kumasi, Ghana, 1974.

32. GLINKA, K.D., Studies on the Mineralogical Composition of the Glacial Clays of the Pskov and on their types of Weathering, Trans. Russ - Imp. Min. Soc. Ser., Vol:2, N^o37, pp. 334-341, 1899.
33. HANDY, R.L., Chemical Treatments for Surface Hardening of Soil Cement and Soil LIME - Fly Ash, HRB 241, pp. 49-60, 1960.
34. HARTY, J.R., Factors Influencing the Lime Reactivity of TROPICALLY and SUBTROPICALLY Weathered Soils, Tese de Doutorado, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana - Champaign, USA, p.139, 1971.
35. HARTY, J.R., e THOMPSON, M.R., Lime Reactivity of Tropical and Sub-Tropical Soils, HRR 442, pp. 102-112, 1973.
36. HOLLAND, T.M., On The Constitution, Origin and Dehydration of Laterite, Geol. Mag., Vol.IV, pp. 59-69, 1906.
37. HURVEY, C.M., e THORBURN, T.H., Sodium Silicate Stabilization of Soil: A Review of the Literature, HRB 381, pp.46-79, 1972.
38. ILLER, R.K., The Colloid Chemistry of Silica and Silicates, Cornell Univ. Press., Ithaca, New York, 1955.
39. INGLES, O.W., e METCLAF, J.B., Soil Stabilization, Principles and Practice, John Wiley e Sons, New York, 1973.
40. JONES, R.A., e KONDIC, V., Dehydration Hardening of Sodium Silicated Bonded Moulds, Foundry Trade Jour, Vol.112, N^o2639, pp. 537-544, 1962.
41. KATTI, R.K. e KULKARNI, K.R., Effect of Tracce Organic Chemicals on Lime Stabilization of an Expansive Soil, Indian Roads Congress, Vol.27, pp. 215-230, 1962.
42. KOZAN, G.R. e FENWICK, W.B., Soil Stabilization , U.S.Army Engineer Waterways Exp. Station, 1965.
43. LADD, C.C., MOH, Z.C. e LAMBE, T.W., Recent Soil Lime Research at the Massachusetts Institute of Technology, HRB

262, pp. 64-85, EUA, 1960.

44. LAL, N.B. e BINDRA, S.R., A Simple Mechanical Test for Classification and Determination of Compaction Characteristics for the Tropical Soil of India, Proceedings of the Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE-UFRJ, CNPq, ABMS, pp. 45-52, 1981.
45. LAMBE, T.W., MICHAELS, A.S. e MOH, Z.C., Improvement of Soil-Cement, HRB 241, pp.67-103, 1960.
46. LAWS, W.D. e PAGE, J.B., Silicate of Soda as a Soil Stabilization Agent, HRB 1, Jour. of American Society of Agronomy, Vol. 38, pp. 95-97, 1946.
47. LIMA, R.C., Granulometria de Solos Lateríticos: Metodologia Efeitos das Energias Térmicas e Mecânica e Relação com a Composição Química e Mineralógica, Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPE, C.Grande, 1983.
48. LITTLE, A.L., Laterites, Proceedings of the 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.7, p.61, 1967.
49. LITTLE, A.L., The Engineering Classification of Residual Tropical Soils, Proceedings of the Specialty Session - Engineering Properties of Lateritic Soils - VII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Edited by Za-Chienh Moh from Asian Institute of Technology, Vol.1, pp. 1-10, 1969.
50. LOHNES, R.A., e DEMIREL, T., Strenght and Structure of Laterites and Lateritic Soils, Engineerings Geology, Vol.7, N^o1, pp.13-33, 1973.
51. LYONS, ASSOCIATES INC., United States Agency for International Development, Laterite and Lateritic and Other Problem Soils of Africa, Report Prepared by Lyons Associates Inc., and Building and Road Research Institute Ghana, USAID, 1971.
52. MAINFORT, R.C., A Laboratory Study of the Effectiveness of various Chemicals as Soil Stabilizing Agents, Technical Development Note 40, p.20, 1945.

53. MALLET, F.R., On Laterite and Other Manganese Ore Occuring at Gosolpur, Jabalpur District, Geol. Surv. India, Vol.16, pp. 103-118, 1883.
54. MATEOS, M. e DAVIDSON, D.T., Further Evaluation of Promising Chemical Additives for Acelerating Hardening of Soil-Lime Fly Ash Mixtures, HRB 304, pp. 32-50, 1961.
55. MEDINA, J. e PREUSSLER, E.S., Resilient Characteristics of Soil for Pavement Purposes, Original Title: Caracteristicas Resilientes de Solos em Pavimentos, revista Solos e Rocha, Vol.3, N^o1, pp. 3-26, Rio de Janeiro, 1980.
56. MEDINA, J., PREUSSLER, E.S., PINTO, S. e MOTTA, L.G., A Study of Resiliency for Pavement Design in Brasil, Paper Presented at the Fifth International Conference on Structural Design of Asphalts Paviments, Netherlands, 1982.
57. MEDINA, J. e PREUSSLER, E.S., Resilient Characteristics of Brazilian Soils, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.108, pp. 697-712., 1982.
58. MOH, Z.C., LAMBE, T.W. e MICHAELIS, A.S., Improvement of Soil - Cement with Chemical Additives, HBR 309, pp.57-76, 1962.
59. MOH, Z.C., Soil Stabilization with Cement and Sodium Additives, American Society of Civil Engineers, Jour. Soil Mech. and Found. Div., Proc. ASCE, Vol.88, Paper 3356, pp. 81-105, 1962.
60. MOREY, R.E. e LANGE, E.A., Factors Affecting Sodium Silicate - Bounded Sands, Foundry, pp. 188-198, 1959.
61. MURRAY, G.E., Soil Stabilization by Chemical Means, Proc. Conf. on Soil Stabilization, MIT, Cambridge, pp. 107-121, 1952.
62. MURRAY, G.E., Chemical Soil Stabilization: Effect of Stabilizer Structure on Preparation and Properties of Stabilized Soil, HRE Proc., Vol.34, pp. 602-613, 1955.
63. NEVES, G.A., Influência da Area Especifica na Atividade

Pozolânica de Solos Lateríticos da Região Norte e Nordeste do Brasil, Dissertação de Mestrado, CCT/DEC/UFPE, Campina Grande, 1989.

64. NIE, N.M., HULL, C.H., JENKINS, J.G., STAINBRENNER, K., e BENT, D.M., SPSS - Statistical Package for the Social Science, Editora Mc Graw Hill Book Company, USA, 1975.
65. NOGAMI, J.S. e VILLIBOR, D.F., A New Classification for Highway Purposes, Proceedings of the Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE, UFRJ, CNPq, ABMS, pp. 30-41, 1981.
66. O'FLAHERTY, C.A., Highway Engineering, Ed. Edward Arnold, Vol.2, 2^a edição, pp. 221-228, 1974.
67. PERSONS, B.S., Laterite - Genesis, Location and Use, Plenum Press, London, pp. 103, 1970.
68. PREUSSLER, E.S., MEDINA, J. e PINTO, S., Resiliency of Tropical Soils and Its Application to Pavement Mechanics, Proceedings of the Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE, UFRJ, CNPq, ABMS, Rio de Janeiro, pp. 591-609, 1981.
69. QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Soil Properties Affecting The Lime Stabilization of Red Tropical Soil from North East Brasil, Tese de Doutorado, Universidade de Leeds, Leeds, Inglaterra, 1979.
70. QUEIROZ DE CARVALHO, J.B. e NOGAMI, J.S., Characterization, Identification and Classification of Tropical Soil, First International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils, Progress Report (1981-1985).
71. QUEIROZ DE CARVALHO, J.B., Classification of Lateritic Soils Based on the Lime Stabilization Process, Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, COPPE, UFRJ, CNPq, ABMS, Rio de Janeiro, pp. 442-452, 1981.
72. RIEDEL, C.M., Chemical Soil Solidification work in Construction and Emergencies, Proc. Conf. on Soil Stabilization, MIT, Cambridge, pp. 68-80, 1952.

73. RUDDOCK, E.C., Properties and Position in Lateritic Ground, Proceedings of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, VII ICSMFE, Vol.1, Mexico, pp. 11-21, 1969.
74. RUFF, C.G. e DAVIDSON, D.T., Lime and Sodium Silicate Stabilization of Montmarillonite Clay Soil, HRB 304, pp. 76-92, 1961.
75. SCHELLMANN, W., Geochemical Principles of Lateritic Nickel One Foundation, Proc. of II International Seminar on Laterisation Processes, São Paulo, pp. 119-135, 1983.
76. SHERWOOD, P.T., Soil Stabilization by the Use of Chemical Admixtures: A Review of the Present Position, Roads and Road Construction, Vol.39, N^o460, pp. 102-110, 1961.
77. SUDENE e MA (Ministério da Agricultura), Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba, Boletim Técnico n^o15, Série Edofologia, n^o8, Rio de Janeiro, 1972.
78. SUDENE, Departamento de Solos, Mapa de Regiões Bioclimáticas e Mapa de Isoietas, Recife, 1974.
79. SUDENE, Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, Recife, 1977.
80. TERZAGHI, R.D., Reports on the Significant Properties of Silica Gels, Personal Communication, 1947.
81. THOMPSON, M.R., Lime Reactivity of Illinois Soils, Journal of the Soil Mech. and Found. Division, ASCE, pp. 67-92, 1966.
82. THORNBURN, T.M. e MURA, R., Stabilization of Soils with Inorganic: A Review of the Literature, HRR-294, pp.1-22, 1969.
83. TOWNSEND, F.C., MANKE, P.G. e PARCHER, J.V., The Influence of Sesquioxides on the Lateritic Soil Properties, HRB-374, pp. 80-92, 1971.
84. VAIL, J.G., Soluble Silicates their Properties and Uses,

Vols 1 e 2, Rheinhold, New York, 1952.

85. VALLERGA, B.A., VANTIL, C.I. e RANAMAND, N., Engineering Properties of Lateritic Materials Use in Thoiland Road Construction, Proceeding of the Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soil, VII ICSMFE, Vol.2, pp.109-121, 1969.
86. VARGAS, M., Residual Soil Sampling Practice in Brasil, Proceeding of the 7th International Conference on Soil Mechnics and Foundation Engineering, Specialty Session 1: Soil Mechnics Aspects of Soil Sampling, 1965.
87. VARGAS, M., The Use of the Atterberg Limits in the Classification of Tropical Soils, Proceedings of the VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Vol.5, pp. 262-278, 1982.
88. WINTER KORN, F.M. e CHANDRASENKHARAN, E.C., Lateritic Soil and Their Stabilization, HRB - 44, pp. 10-29, 1951.
89. WISSA, E.Z. e HALABI, R., Chemical Stabilization of Selected Tropical Soils (from Puerto Rico and Panamá), MIT, Soils Publication, N^o 178, 1964.
90. WOOLTORTON, F.L.D., Engineering Pedology and Soil Stabilization, Use of Electrolytes in Stabilization, HRB 108, pp. 55-56, 1955.
91. ZHMOKO, N.M., DROZD, P.A. e IOSELEVA, M.A., Resistance to Frost of Sands Stabilized by Chemical Methods, Sbornik Nauch Rabot. Beloruss. Politekh. Inst., N^o54, pp. 57-62, Russian, 1966.

CAPITULO 6

TABELAS

GRAFICOS

JAZIDA / ESTADO	ABREVIACÃO
JOÃO PESSOA-PB	JPPB
SAPE-PB	SPPB
TEIXEIRA-PB	TEPB
AREIA-PB	ARPB
BURITI DOS LOPES-PI	BUPI
PICOS-PI	PIPI
GILBUES-PI	GIFI
CASTELO-PI	CAPI
PRESIDENTE DUTRA-MA	PDMA
VARGEM GRANDE-MA	VGMA

TABELA 1 - Identificações Utilizadas para as Jazidas Selecionadas

SOLOS	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃
JPPB	11,60	7,15	1,10
SPPB	11,60	4,79	3,45
TEPB	9,58	3,20	4,20
ARPB	10,30	4,32	0,49
BUPI	12,36	6,43	0,65
PIPI	15,17	9,28	0,95
GIFI	6,50	2,52	0,30
CAPI	10,90	5,17	1,01
PDMA	13,43	5,01	1,48
VGMA	9,55	3,61	0,80

TABELA 2 - Constituintes Amorfos nos Solos Estudados.

SOLOS	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃
JPPB	25,74	19,52	36,62
SPPB	24,53	16,87	43,88
TEPB	99,41	1,03	0,64
ARPB	29,51	21,87	29,52
BUPI	60,25	11,12	22,29
PIPI	43,59	13,96	32,10
GIPI	75,76	11,29	2,71
CAPI	26,34	15,17	43,49
PDMA	28,71	17,14	38,96
VGMA	37,67	12,44	35,15

TABELA 3 - Composição Química dos Solos Estudados

Fração: 2 cm em diâmetro

IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS	GRANULOMETRIA: PORCENTAGEM PASSANDO								
	PENEIRAS (mm)								
ESTUDADOS	19	9,5	4,8	2,0	0,42	0,074	0,05	0,002	
JPPB	100,0	90,3	76,2	62,0	45,9	20,7	16,9	11,5	
SPPB	100,0	86,3	69,9	50,3	33,6	16,0	12,6	6,7	
TEPB	100,0	99,6	97,3	86,2	58,8	30,0	20,7	16,6	
ARPB	100,0	86,2	70,4	52,8	38,0	18,0	15,3	11,3	
BUPI	100,0	89,6	75,0	66,4	61,8	36,6	24,8	12,9	
PIPI	100,0	85,1	51,4	31,8	30,0	22,0	13,6	6,0	
GIPI	100,0	87,0	75,1	65,7	56,4	51,4	44,1	4,1	
CAPI	100,0	80,6	57,6	42,0	38,8	21,4	14,8	9,8	
PDMA	100,0	80,5	51,7	29,7	22,9	16,2	13,4	9,1	
VGMA	100,0	90,4	68,1	49,6	44,9	34,4	23,4	12,7	

TABELA 4a. - Análise Granulométrica (Lima, 1983) e
Limites de Atterberg (Carvalho Borba, 1981).

IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS	LIMITES DE ATTERBERG		
	LL%	LP%	IP%
	JPPB	35,6	24,0
SPPB	34,5	25,6	8,9
TEPB	38,8	27,3	11,5
ARPB	41,6	31,3	10,3
BUPI	21,2	16,8	4,4
PIPI	23,1	NP	NP
GIPI	35,2	25,7	9,5
CAPI	26,5	19,2	7,3
PDMA	31,7	23,7	8,0
VGMA	34,7	24,3	10,4

TABELA 4b. - Análise Granulométrica (Lima, 1983) e Limites de Atterberg (Carvalho Borba, 1981).

NP - Não Plástico

SOLOS	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	RELAÇÃO SILICA/SESQUIÓXIDOS
JPPB	17,39	15,57	3,52	1,66
SPPB	11,20	10,00	2,78	1,61
TEPB	4,21	3,28	1,39	1,72
ARPB	28,22	10,49	3,34	3,80
BUPI	1,10	0,94	0,27	1,68
PIPI	1,68	1,57	0,94	1,32
GIPI	1,26	0,49	0,15	3,66
CAPI	6,02	5,18	1,38	1,69
PDMA	1,75	1,38	0,44	1,79
VGMA	2,84	2,17	0,36	2,01

TABELA 5 - Composição Química da Fração Tamanho Argila em Relação ao Solo Total. (Neves, 1989)

SOLO	AREA ESPECIFICA (m ² /g)	
	BLAINE	FISHER
JPPB	1,90	1,32*
SPPB	0,76	0,67
TEPB	1,14	0,92*
ARPB	1,05	0,81*
BUPI	0,70	0,50*
PIPI	0,45	0,43
GIPI	0,29	0,28*
CAPI	1,05	0,85*
PDMA	1,29	1,23*
VGMA	0,68	0,50*

TABELA 6 - Area Especifica da Fração Fina de Solos Lateríticos.

(*) Brito, 1984
Neves, 1989

SOLOS	RCS (kPa) (Natural)
JPPB	157,9
SPPB	61,4
TEPB	205,0
ARPB	155,8
BUPI	160,2
PIPI	46,4
GIPI	103,2
CAPI	168,0
PDMA	236,0
VGMA	138,5

TABELA 7 - Resistência à Compressão Simples de Solos Lateríticos no Estado Natural.

SOLOS	T E O R T O T A L (%)			Materia orgânica fração < 0,42mm	$\phi < 2 \mu m$ (%)
	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃		
JPPB	66,55	12,03	13,24	0,90	46,57
SPPB	49,51	23,63	8,78	0,87	37,21
TEPB	75,11	10,36	5,23	0,93	11,15
ARPB	56,48	21,46	6,77	1,39	48,53
BUPI	92,89	4,45	2,72	0,60	2,83
PIPI	78,97	7,61	9,55	0,72	6,28
GIPI	77,14	10,55	2,70	0,56	2,48
CAPI	77,37	10,62	6,23	1,32	15,83
PDMA	82,27	6,14	6,86	1,39	4,48
VGMA	90,60	3,80	4,16	1,03	6,69

TABELA 8 - Propriedades Características Seleccionadas de Solos Lateríticos da Região Nordeste do Brasil.

SOLOS	CTC meq/100g		DCTC (pH=10,0 -pH=7,0)	INDICE DE ATIVIDADE	
	pH=7,0	pH=10,0		IA(0,42)	IA(0,002)
JPPB	6,86	10,09	3,23	0,25	1,01
SPPB	7,17	7,90	0,83	0,24	0,31
TEPB	13,84	17,98	4,14	0,20	0,69
ARPB	8,70	10,63	1,93	0,27	0,91
BUPI	13,87	18,02	4,15	0,07	0,34
PIPI	13,00	16,66	3,66	0,21	0,42
GIPI	ND	ND	ND	0,17	3,32
CAPI	10,83	11,28	0,45	0,19	0,74
PDMA	13,95	17,76	3,81	0,35	0,86
VGMA	21,57	27,74	6,14	0,23	0,82

TABELA 9 - Propriedades Características Seleccionadas de Solos Lateríticos da Região Nordeste do Brasil.

COMPOSIÇÃO	TEOR
CaO	56,00%
MgO	11,45%
SiO ₂	0,88%
HPO ₃	0,91%
FeO ₂	0,09%
Perda ao Fogo	29,97%
Na ₂ O	0,67%
K ₂ O	0,10%

TABELA 10 - Composição Química da Cal

- Massa Específica (25 ^o C) :	
+- 0,005 (g.ml ⁻¹) = 1.559	
+- 0,5 (°Bé) = 53.0	
- Relação Ponderal (+- 0,05) :	%SiO ₂ : %Na ₂ O = 2.15
- Relação Molar (+- 0,05) :	nSiO ₂ : nNa ₂ O = 2.22
- Teor Na ₂ O (%) =	14.9
- Teor SiO ₂ (%) =	32.1
- Teor de Sólidos (%) =	47.0
- Viscosidade à 25 ^o C (CP) =	1000 +- 100

TABELA 11 - TIPO C-112 de SILICATO FABRICADO PELA ICI BRASIL S.A.

AMOSTRAS	% DE NaOH	TEMPOS DE CURA			
		RCS (kPa)	RCS (kPa)	RCS (kPa)	
		7 dias	28 dias	60 dias	
SOLO	0,0	470,0	557,0	387,0	
	0,5	484,0	505,0	481,0	
	JPPB	1,0	512,0	578,0	590,0
	1,5	556,0	589,0	653,0	
	com	2,0	620,0	715,0	824,0
6% cal	2,5	689,0	928,0	1014,0	
SOLO	0,0	208,8	289,0	287,7	
	0,5	146,0	164,0	262,0	
	SPPB	1,0	230,0	252,0	283,0
	1,5	201,0	311,0	376,0	
	com	2,0	235,0	319,0	396,0
	6% cal	2,5	274,0	503,0	457,0
	4,0	286,0	563,0	567,0	
SOLO	0,0	348,0	575,0	465,0	
	0,5	338,0	522,0	543,0	
	TEPB	1,0	347,0	544,0	568,0
	1,5	398,0	589,0	594,0	
	com	2,0	429,0	603,0	615,0
	6% cal	2,5	453,0	610,0	623,0
	4,0	550,0	689,0	694,0	
SOLO	0,0	295,7	387,7	348,8	
	0,5	228,0	347,0	365,0	
	ARPB	1,0	329,0	256,0	548,0
	1,5	512,0	420,0	639,0	
	com	2,0	529,0	585,0	731,0
	6% cal	2,5	583,0	605,0	822,0
	4,0	604,0	659,0	859,0	
SOLO	0,0	218,1	283,1	238,7	
	0,5	137,0	604,0	715,0	
	BUPI	1,0	157,0	776,0	881,0
	1,5	292,0	886,0	906,0	
	com	2,0	630,0	1078,0	1112,0
	6% cal	2,5	848,0	1443,0	1365,0
	4,0	910,0	1468,0	1494,0	

TABELA 12 - Resistências à Compressão Simples (R.C.S.) dos Solos-Cal Aditivados com Hidróxido de Sódio (NaOH).

AMOSTRAS	% DE NaOH	TEMPOS DE CURA			
		RCS (kPa)	RCS (kPa)	RCS (kPa)	
		7 dias	28 dias	60 dias	
SOLO	0,0	105,6	113,5	160,7	
	0,5	146,0	174,0	164,0	
	PIPI	1,0	166,0	165,0	183,0
		1,5	178,0	194,0	189,0
	com	2,0	219,0	240,0	285,0
	6% cal	2,5	332,0	351,0	364,0
4,0		354,0	387,0	410,0	
SOLO	0,0	206,3	230,4	439,7	
	0,5	183,0	132,0	146,0	
	GIPI	1,0	187,0	245,0	347,0
		1,5	191,0	456,0	374,0
	com	2,0	247,0	512,0	731,0
	6% cal	2,5	219,0	602,0	758,0
4,0		240,0	634,0	802,0	
SOLO	0,0	330,0	519,7	600,2	
	0,5	146,0	246,0	155,0	
	CAPI	1,0	192,0	228,0	283,0
		1,5	290,0	346,0	374,0
	com	2,0	338,0	467,0	548,0
	6% cal	2,5	356,0	639,0	731,0
4,0		388,0	652,0	749,0	
SOLO	0,0	192,0	480,0	203,0	
	0,5	241,0	685,0	384,0	
	PDMA	1,0	274,0	688,0	689,0
		1,5	367,0	895,0	694,0
	com	2,0	576,0	933,0	702,0
	6% cal	2,5	583,0	945,0	921,0
4,0		583,0	945,0	921,0	
SOLO	0,0	236,6	358,6	287,7	
	0,5	246,0	263,0	621,0	
	VGMA	1,0	265,0	559,0	635,0
		1,5	537,0	804,0	1055,0
	com	2,0	621,0	932,0	1128,0
	6% cal	2,5	713,0	968,0	1153,0
4,0		810,0	1002,0	1172,0	

TABELA 13 - Resistências à Compressão Simples (R.C.S.) dos Solos-Cal Aditivados com Hidróxido de Sódio (NaOH).

AMOSTRAS	% de SILI- CATO SODIO	TEMPOS DE CURA			
		RCS (kPa)	RCS (kPa)	RCS (kPa)	
		7 dias	28 dias	60 dias	
SOLO	0,0	384,0	531,0	583,0	
	0,5	548,0	550,0	629,0	
	JPPB	1,0	639,0	641,0	718,0
		1,5	650,0	709,0	969,0
	com 6% cal	2,0	689,0	785,0	931,0
	2,5	712,0	998,0	1026,0	
SOLO	0,0	208,8	289,0	287,7	
	0,5	186,0	228,0	128,0	
	SPPB	1,0	402,0	475,0	493,0
		1,5	415,0	548,0	585,0
	com 6% cal	2,0	639,0	607,0	767,0
	2,5	694,0	786,0	794,0	
	4,0	709,0	815,0	843,0	
SOLO	0,0	348,0	575,0	465,0	
	0,5	515,0	564,0	683,0	
	TEPB	1,0	592,0	717,0	789,0
		1,5	573,0	738,0	884,0
	com 6% cal	2,0	566,0	785,0	890,0
	2,5	621,0	616,0	896,0	
	4,0	653,0	674,0	906,0	
SOLO	0,0	295,7	387,7	348,8	
	0,5	274,0	279,0	284,0	
	ARPB	1,0	347,0	352,0	386,0
		1,5	420,0	402,0	435,0
	com 6% cal	2,0	493,0	447,0	465,0
	2,5	513,0	556,0	575,0	
	4,0	529,0	601,0	685,0	
SOLO	0,0	218,1	283,1	238,7	
	0,5	270,0	298,0	605,0	
	BUPI	1,0	636,0	640,0	768,0
		1,5	641,0	648,0	914,0
	com 6% cal	2,0	652,0	659,0	964,0
	2,5	952,0	1159,0	1010,0	
	4,0	986,0	1203,0	1143,0	

TABELA 14 - Resistências à Compressão Simples (R.C.S.) dos Solos-Cal Aditivados com Silicato de Sódio.

AMOSTRAS	% de SILI-CATO SODIO	TEMPOS DE CURA		
		RCS (kPa)	RCS (kPa)	RCS (kPa)
		7 dias	28 dias	60 dias
SOLO PIPI com 6% cal	0,0	105,6	113,5	160,7
	0,5	110,0	122,0	134,0
	1,0	191,0	193,0	223,0
	1,5	292,0	296,0	341,0
	2,0	301,0	310,0	363,0
	2,5	328,0	334,0	385,0
	4,0	425,0	443,0	494,0
SOLO GIPI com 6% cal	0,0	206,3	230,4	439,7
	0,5	292,0	448,0	512,0
	1,0	301,0	484,0	534,0
	1,5	365,0	319,0	537,0
	2,0	347,0	311,0	565,0
	2,5	439,0	530,0	585,0
	4,0	485,0	631,0	661,0
SOLO CAPI com 6% cal	0,0	330,0	519,7	600,2
	0,5	119,0	528,0	125,0
	1,0	157,0	605,0	146,0
	1,5	365,0	647,0	567,0
	2,0	959,0	694,0	756,0
	2,5	970,0	780,0	785,0
	4,0	1033,0	899,0	873,0
SOLO PDMA com 6% cal	0,0	484,0	414,0	494,0
	0,5	502,0	577,0	564,0
	1,0	520,0	612,0	603,0
	1,5	612,0	667,0	767,0
	2,0	709,0	689,0	789,0
	2,5	723,0	824,0	917,0
SOLO VGMA com 6% cal	0,0	236,6	358,6	287,7
	0,5	356,0	650,0	537,0
	1,0	915,0	878,0	543,0
	1,5	921,0	1023,0	707,0
	2,0	991,0	1246,0	1148,0
	2,5	813,0	1078,0	1210,0
	4,0	912,0	1143,0	1294,0

TABELA 15 - Resistências à Compressão Simples (R.C.S.) dos Solos-Cal Aditivados com Silicato de Sódio.

VARIÁVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
BLA x RCSHS	0,5	0,75	1,20	$Y = 0,20 + 0,003x$
BLA x RCSHV	0,5	0,66	3,70	$Y = 0,33 + 0,002x$
BLA x RCSHS	1,0	0,82	0,30	$Y = 0,04 + 0,004x$
FIS x RCSHS	0,5	0,62	5,00	$Y = 0,31 + 0,002x$
FIS x RCSHS	1,0	0,71	2,10	$Y = 0,13 + 0,002x$

TABELA 16 - Correlações Lineares Simples entre Areas Especificas de Blaine e Fisher com RCS - Cal + NaOH.

VARIÁVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
RCSV x RCSSS	1,0	0,64	4,6	$Y = 96,24 + 1,17x$
RCSS x RCSHS	0,5	0,78	0,7	$Y = 108,64 + 0,75x$
RCSS x RCSHS	1,0	0,81	0,4	$Y = 63,04 + 0,82x$
RCSV x RCSHS	0,5	0,69	2,5	$Y = 75,35 + 1,67x$
RCSV x RCSHV	0,5	0,63	4,9	$Y = 130,96 + 0,90x$
RCSV x RCSHS	1,0	0,71	1,9	$Y = -19,80 + 1,80x$

TABELA 17 - Correlações Lineares Simples entre as RCS-Cal com as RCS-Cal + NaOH e as RCS-Cal + silicato de sódio.

VARIÁVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
RCSHS x %CAU	1,5	0,80	1,0	$Y = 15,24 + 0,02x$
RCSHC x %CAU	1,5	0,76	1,0	$Y = 18,46 + 0,01x$

TABELA 18 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH e percentagem de Caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
RCSSV x %CAU	0,5	0,83	0,20	Y = 11,72 + 0,01x
RCSSS x %CAU	1,0	0,77	1,00	Y = 11,82 + 0,01x
RCSSV x %CAU	1,0	0,86	0,10	Y = 60,51 + 0,02X
RCSSS x %CAU	1,5	0,82	0,40	Y = 59,15 + 0,02x
RCSSV x %CAU	1,5	0,82	0,40	Y = 3,41 + 0,01x
RCSSV x %CAU	2,0	0,81	0,40	Y = 3,85 + 0,01x
RCSSC x %CAU	2,0	0,81	0,40	Y = 11,04 + 0,03x
RCSSC x %CAU	2,5	0,76	1,00	Y = 11,65 + 0,03x
RCSSC x %CAU	4,0	0,77	1,00	Y = 12,60 + 0,09x

TABELA 19 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio e percentagem de Caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
SICAU x RCSSV	0,5	0,74	1,40	Y = 73,01 + 0,03x
SICAU x RCSSS	1,0	0,82	0,32	Y = 73,81 + 0,02x
SICAU x RCSSV	1,0	0,83	0,26	Y = 69,15 + 0,03x
SICAU x RCSSS	1,5	0,88	0,08	Y = 68,98 + 0,03x
SICAU x RCSSV	1,5	0,89	0,05	Y = 68,91 + 0,02x
SICAU x RCSSV	2,0	0,88	0,06	Y = 70,98 + 0,02x
SICAU x RCSSC	2,0	0,84	0,20	Y = 67,64 + 0,02x
SICAU x RCSSC	2,5	0,80	0,50	Y = 67,89 + 0,02x
SICAU x RCSSC	4,0	0,79	1,00	Y = 74,81 + 0,02x

TABELA 20 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio com percentagem de sílica amorfa mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
SICAU x RCSHC	0,5	0,75	1,20	Y = 81,64 + 0,02x
SICAU x RCSHS	1,5	0,85	0,20	Y = 71,38 + 0,04x
SICAU x RCSHV	1,5	0,71	1,20	Y = 73,77 + 0,01x
SICAU x RCSHC	1,5	0,82	0,40	Y = 73,01 + 0,02x
SICAU x RCSHS	2,0	0,78	0,80	Y = 71,36 + 0,03x
SICAU x RCSHS	4,0	0,78	0,70	Y = 72,73 + 0,02x

TABELA 21 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH com percentagem de sílica amorfa mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
ALCAU x RCSSV	0,5	0,74	1,30	Y = 67,88 + 0,03x
ALCAU x RCSSS	1,0	0,73	1,60	Y = 69,57 + 0,02x
ALCAU x RCSSV	1,0	0,77	0,90	Y = 65,38 + 0,02x
ALCAU x RCSSS	1,5	0,79	0,50	Y = 65,46 + 0,02x
ALCAU x RCSSV	1,5	0,78	0,70	Y = 65,77 + 0,02x
ALCAU x RCSSC	1,5	0,74	1,50	Y = 63,20 + 0,02x
ALCAU x RCSSV	2,0	0,76	1,10	Y = 67,64 + 0,01x
ALCAU x RCSSC	2,0	0,80	0,50	Y = 63,39 + 0,02x
ALCAU x RCSSC	4,0	0,74	1,40	Y = 61,51 + 0,02x

TABELA 22 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio com percentagem de alumina amorfa mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
ALCAU x RCSHC	0,5	0,73	1,50	Y = 70,74 + 0,02x
ALCAU x RCSHS	1,5	0,85	0,10	Y = 66,19 + 0,03x
ALCAU x RCSHC	1,5	0,72	1,60	Y = 68,93 + 0,01x
ALCAU x RCSHS	2,0	0,73	1,60	Y = 67,01 + 0,02x
ALCAU x RCSHS	4,0	0,80	0,50	Y = 68,30 + 0,02x

TABELA 23 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH com percentagem de alumina amorfa mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
FECAU x RCSSV	0,5	0,80	0,50	Y = 60,08 + 0,03x
FECAU x RCSSS	1,0	0,76	1,00	Y = 62,99 + 0,02x
FECAU x RCSSV	1,0	0,86	0,10	Y = 55,99 + 0,03x
FECAU x RCSSS	1,5	0,78	0,70	Y = 58,27 + 0,03x
FECAU x RCSSV	1,5	0,82	0,30	Y = 57,60 + 0,03x
FECAU x RCSSC	2,0	0,81	0,40	Y = 59,99 + 0,02x
FECAU x RCSSC	2,0	0,79	0,60	Y = 55,84 + 0,02x

TABELA 24 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio com percentagem de ferro amorfo mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
FECAU x RCSV	0,5	0,75	0,60	Y = 54,23 + 0,02x
FECAU x RCSHS	1,0	0,71	1,00	Y = 50,32 + 0,02x
FECAU x RCSHS	1,5	0,79	0,70	Y = 55,92 + 0,03x
FECAU x RCSV	1,5	0,82	0,30	Y = 52,36 + 0,02x
FECAU x RCSV	2,0	0,80	0,40	Y = 59,46 + 0,03x

TABELA 25 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH com percentagem de ferro amorfo mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
SIALC x RCSSS	1,0	0,70	2,20	Y = 77,39 + 0,02x
SIALC x RCSSV	1,0	0,78	0,73	Y = 80,08 + 0,02x
SIALC x RCSSS	1,5	0,86	0,13	Y = 75,35 + 0,03x
SIALC x RCSSV	1,5	0,85	0,16	Y = 75,63 + 0,02x
SIALC x RCSSV	2,0	0,84	0,20	Y = 77,49 + 0,02x
SIALC x RCSSC	2,0	0,82	0,40	Y = 74,30 + 0,02x
SIALC x RCSSC	4,0	0,74	1,40	Y = 73,01 + 0,03x

TABELA 26 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio com percentagem de sílica e alumina amorfas mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
SIALC x RCSHC	0,5	0,76	1,00	Y = 81,64 + 0,02x
SIALC x RCSHS	1,5	0,83	0,30	Y = 77,46 + 0,03x
SIALC x RCSHS	1,5	0,80	0,50	Y = 76,88 + 0,03x
SIALC x RCSHS	2,5	0,78	0,70	Y = 78,14 + 0,02x
SIALC x RCSHS	4,0	0,78	0,70	Y = 72,73 + 0,02x

TABELA 27 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH com percentagem de sílica e alumina amorfas mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
SIFEC x RCSSS	0,5	0,70	1,20	Y = 73,04 + 0,02x
SIFEC x RCSSV	1,0	0,82	0,45	Y = 76,34 + 0,03x
SIFEC x RCSSC	1,0	0,78	0,68	Y = 72,24 + 0,03x
SIFEC x RCSSV	1,5	0,84	0,35	Y = 68,42 + 0,03x
SIFEC x RCSSV	2,0	0,70	1,00	Y = 70,53 + 0,02x
SIFEC x RCSSV	2,5	0,75	0,80	Y = 74,35 + 0,02x

TABELA 28 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio com percentagem de sílica e ferro amorfos mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
SIFEC x RCSHV	1,0	0,76	1,10	Y = 70,78 + 0,02x
SIFEC x RCSHV	1,5	0,80	0,50	Y = 72,37 + 0,02x
SIFEC x RCSHC	1,5	0,83	0,40	Y = 64,72 + 0,01x
SIFEC x RCSHV	2,5	0,72	0,87	Y = 81,64 + 0,03x

TABELA 29 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH com percentagem de sílica e ferro amorfos mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
ALFEC x RCSSV	0,5	0,75	1,10	Y = 67,88 + 0,03x
ALFEC x RCSSS	1,0	0,79	0,60	Y = 69,28 + 0,02x
ALFEC x RCSSV	1,0	0,82	0,30	Y = 64,26 + 0,03x
ALFEC x RCSSS	0,5	0,83	0,10	Y = 64,33 + 0,03x
ALFEC x RCSSV	1,5	0,86	0,10	Y = 64,33 + 0,03x
ALFEC x RCSSC	1,5	0,73	1,70	Y = 62,87 + 0,03x
ALFEC x RCSSV	2,0	0,84	0,20	Y = 66,51 + 0,02x
ALFEC x RCSSC	2,0	0,84	0,20	Y = 62,50 + 0,02x
ALFEC x RCSSC	2,5	0,73	1,60	Y = 61,45 + 0,02x
ALFEC x RCSSC	4,0	0,77	0,99	Y = 59,98 + 0,02x

TABELA 30 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio com percentagem de alumina e ferro amorfos mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
ALFEC x RCSHS	0,5	0,74	1,40	Y = 71,36 + 0,02x
ALFEC x RCSHS	1,5	0,82	0,40	Y = 66,78 + 0,04x
ALFEC x RCSHC	1,5	0,71	1,20	Y = 69,44 + 0,02x

TABELA 31 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH com percentagem de alumina e ferro amorfos mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
ASFC x RCSSS	1,0	0,77	0,80	Y = 81,16 + 0,02x
ASFC x RCSSV	1,0	0,71	1,60	Y = 78,07 + 0,02x
ASFC x RCSSS	1,5	0,82	0,40	Y = 76,80 + 0,03x
ASFC x RCSSV	1,5	0,86	0,10	Y = 76,24 + 0,02x
ASFC x RCSSV	2,0	0,84	0,20	Y = 78,33 + 0,01x
ASFC x RCSSC	2,0	0,82	0,30	Y = 74,89 + 0,02x
ASFC x RCSSC	2,5	0,75	1,20	Y = 73,09 + 0,02x
ASFC x RCSSC	4,0	0,77	0,99	Y = 59,98 + 0,02x

TABELA 32 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + silicato de sódio com percentagem de sílica, alumina e ferro amorfos mais percentagem de caulinita.

VARIAVEIS	TEOR DE ADITIVO(%)	r	α (%)	EQUAÇÃO
ASFC x RCSHC	0,5	0,75	1,20	Y = 82,84 + 0,02x
ASFC x RCSHS	1,5	0,77	0,90	Y = 79,20 + 0,03x
ASFC x RCSHS	2,0	0,71	1,20	Y = 79,13 + 0,03x
ASFC x RCSHS	4,0	0,80	0,50	Y = 79,24 + 0,02x

TABELA 33 - Correlações Lineares Simples entre RCS-Cal + NaOH com percentagem de sílica, alumina e ferro amorfos mais percentagem de caulinita.

GRAFICOS

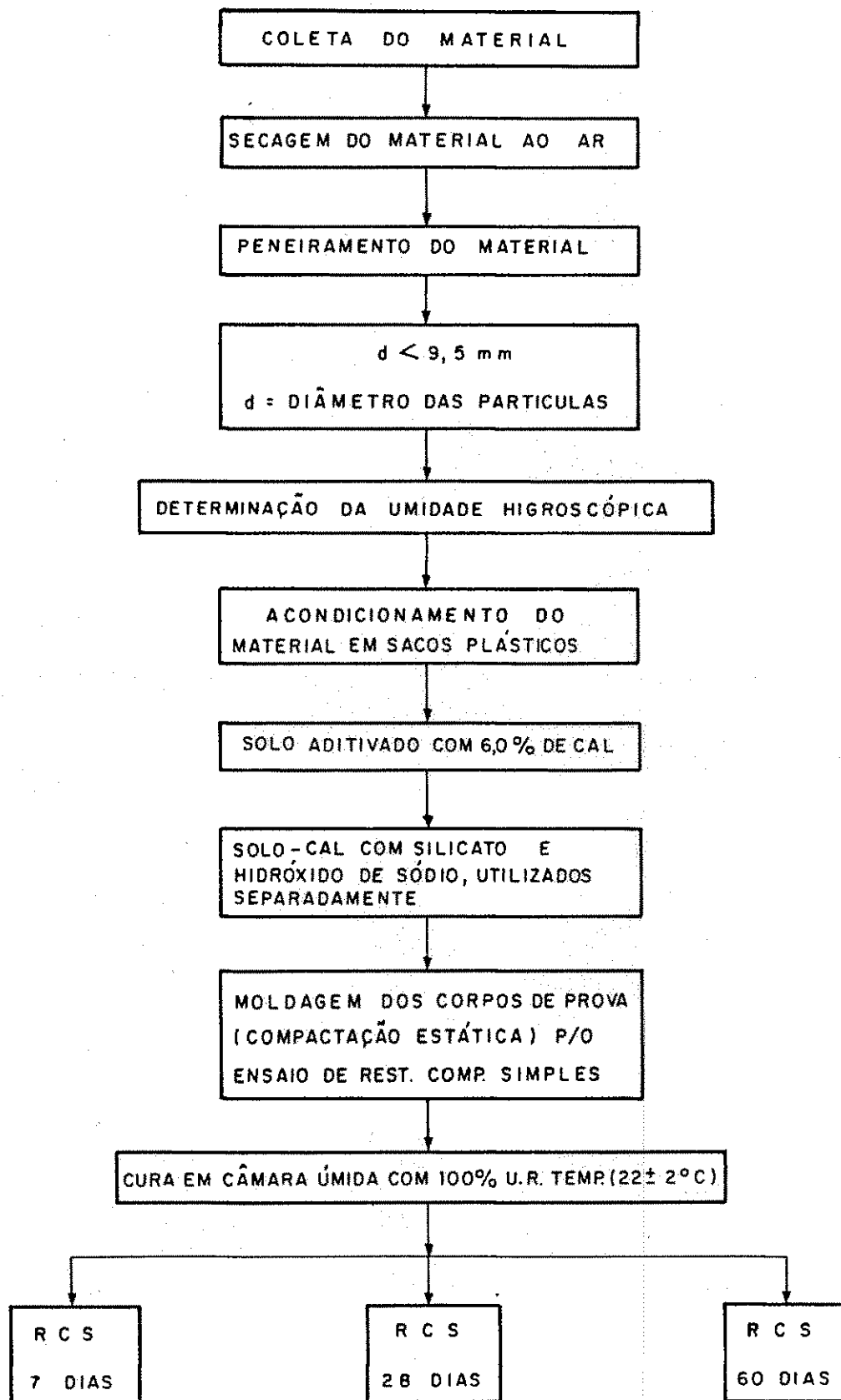


FIGURA 1A — FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (R.C.S.) DE SOLOS VERMELHOS TROPICAIS ADITIVADOS COM CAL, SILICATO E HIDRÓXIDO DE SÓDIO.

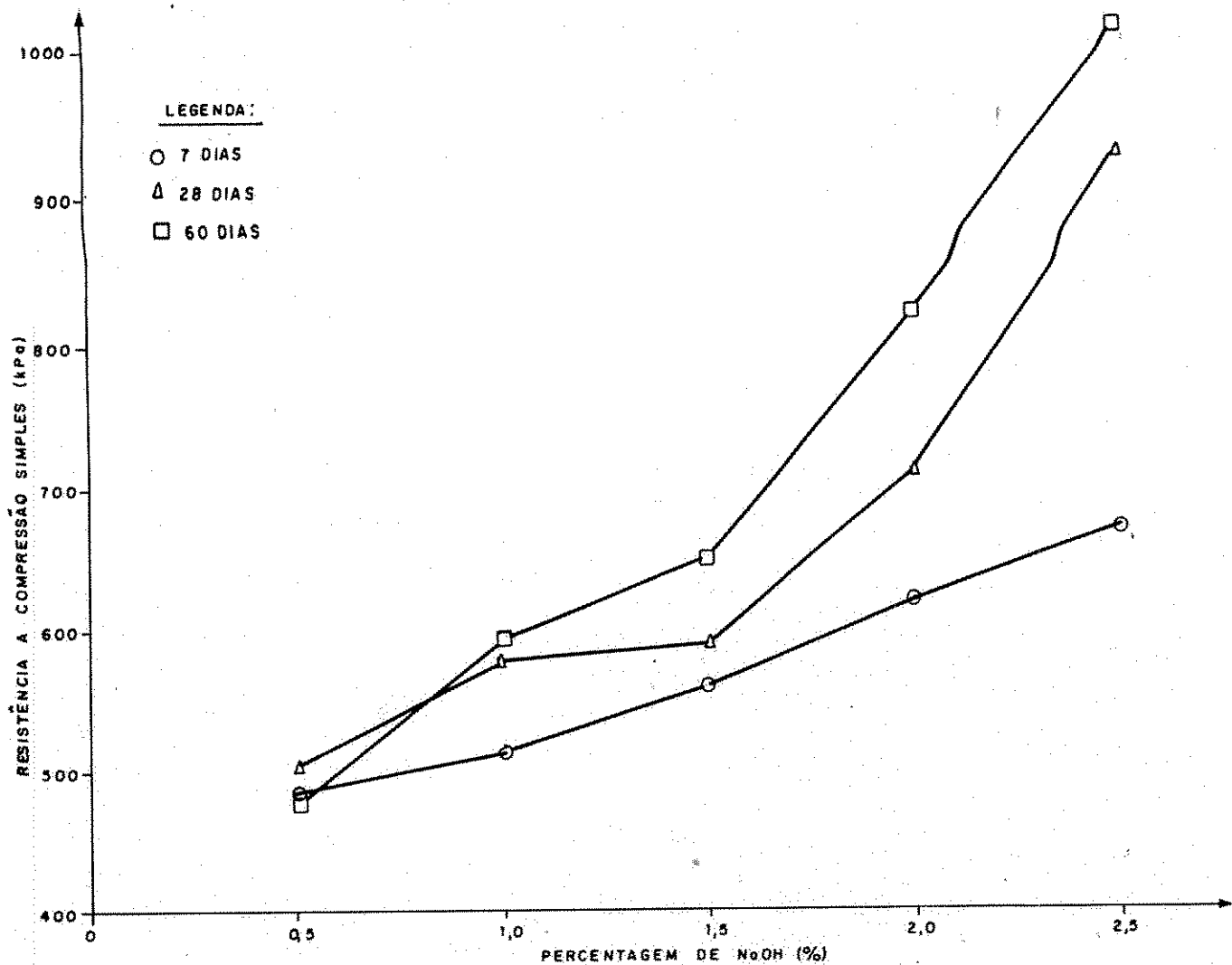


FIGURA 01 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO JPPB COM TRAÇOS NaOH

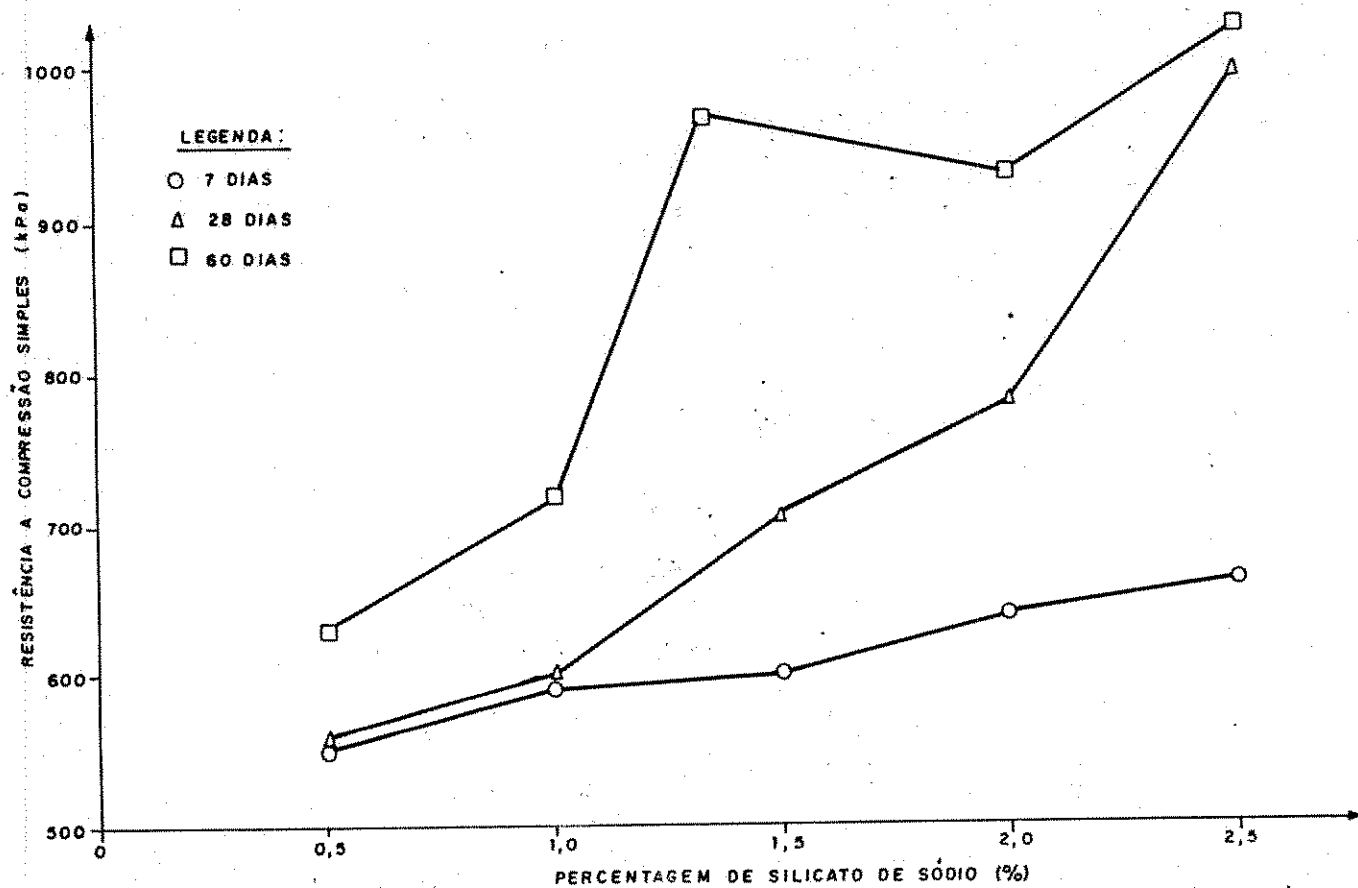


FIGURA 02 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO JPPB COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

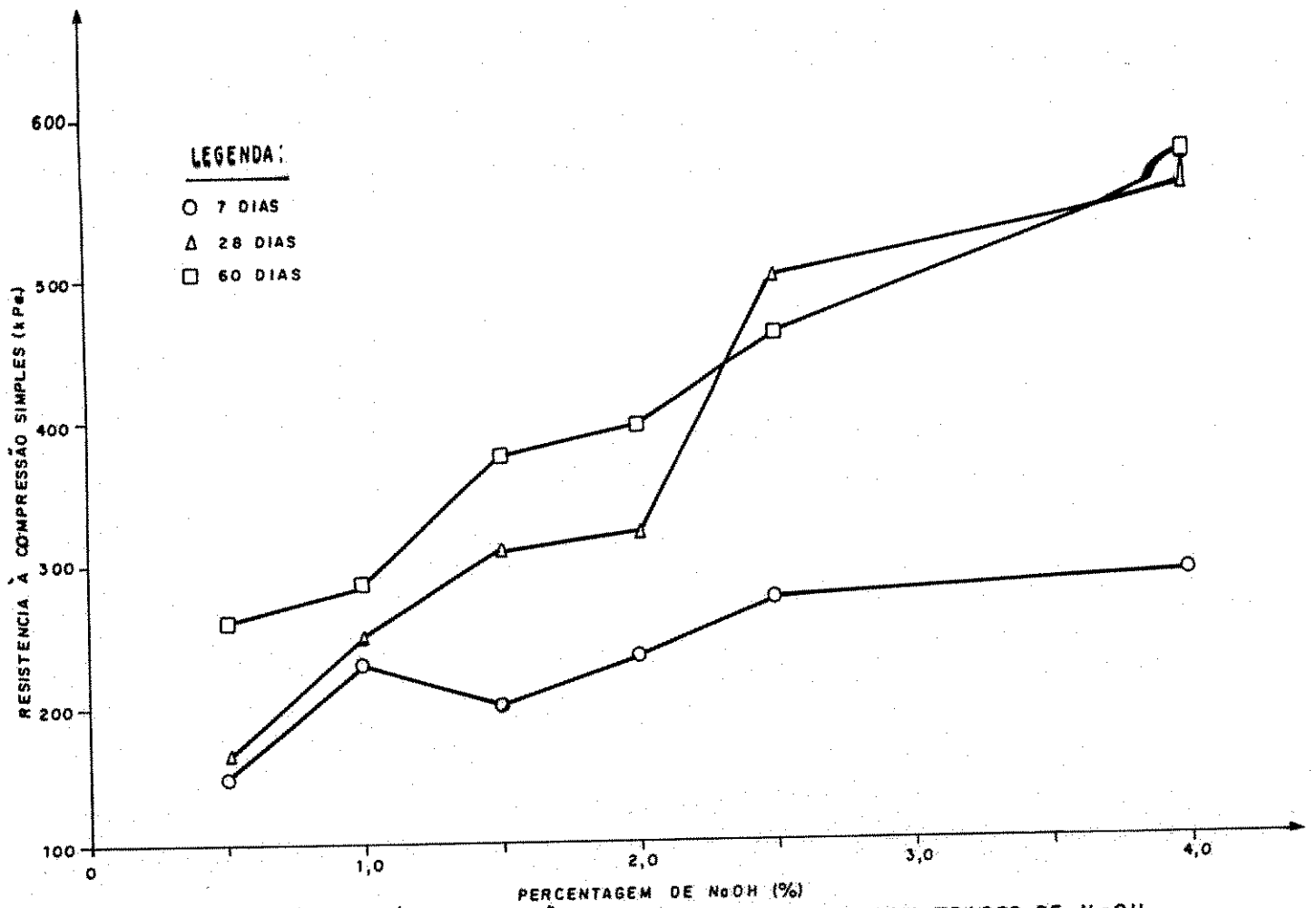


FIGURA 03 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO SPPB COM TRAÇOS DE NaOH

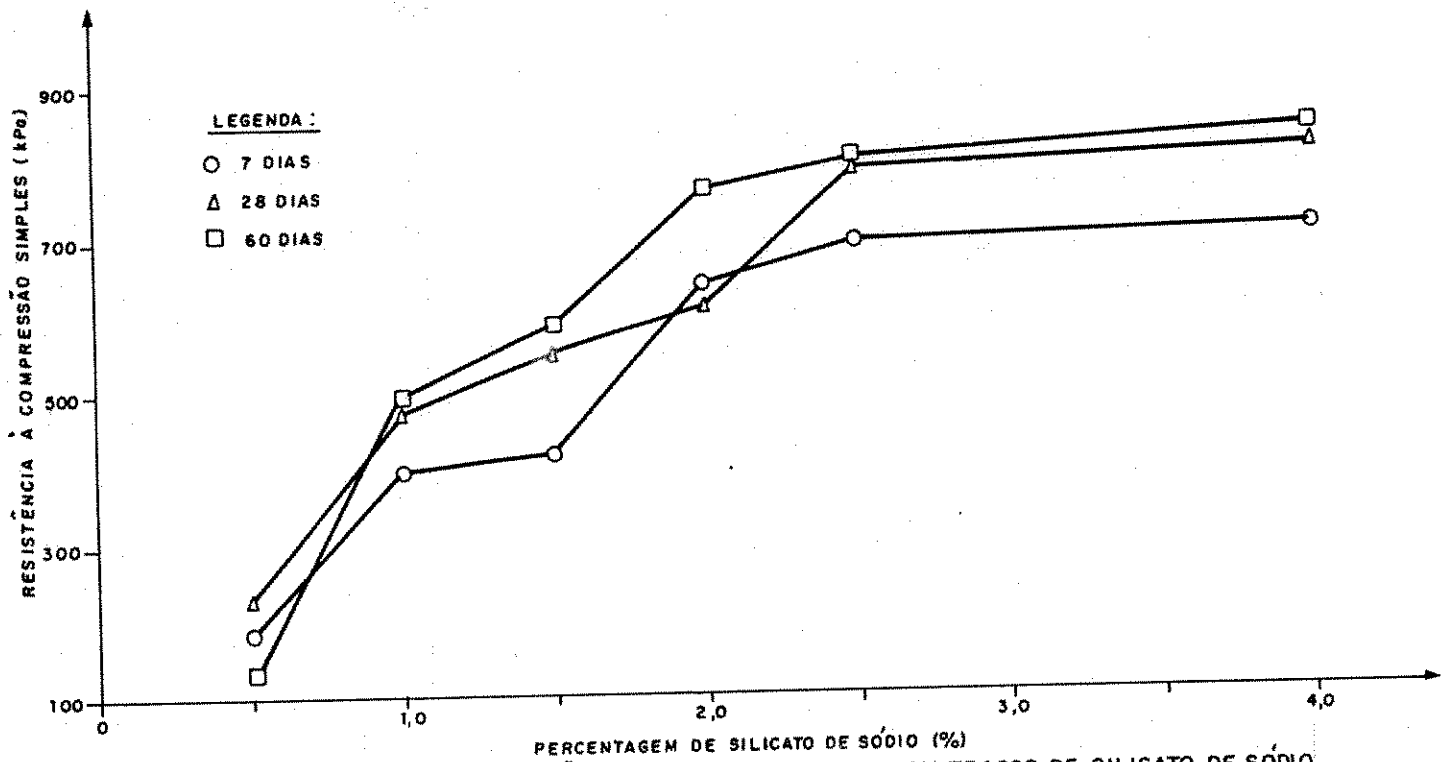


FIGURA 04 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO SPPB COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

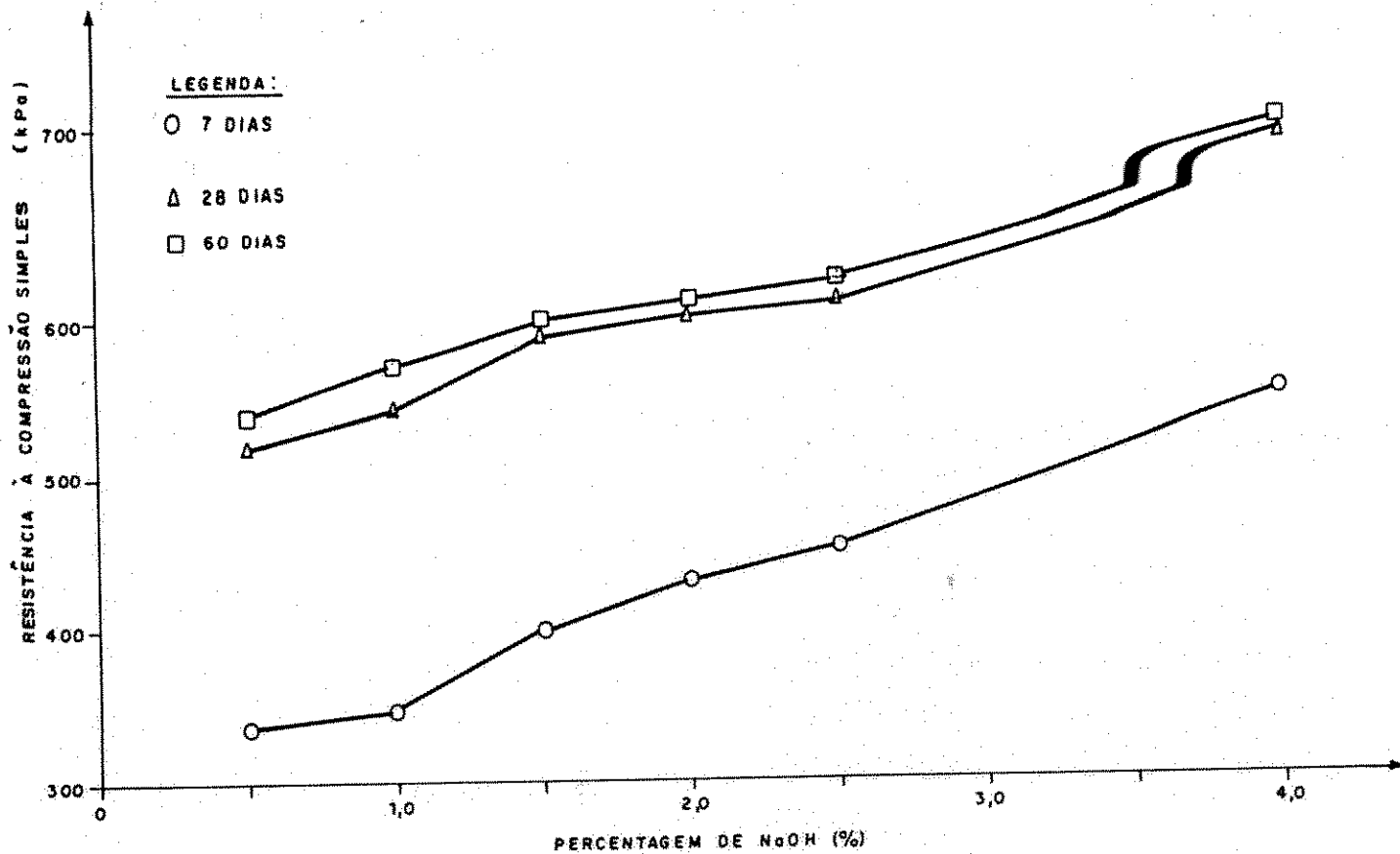


FIGURA 05 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO TEPB COM TRAÇOS DE NaOH

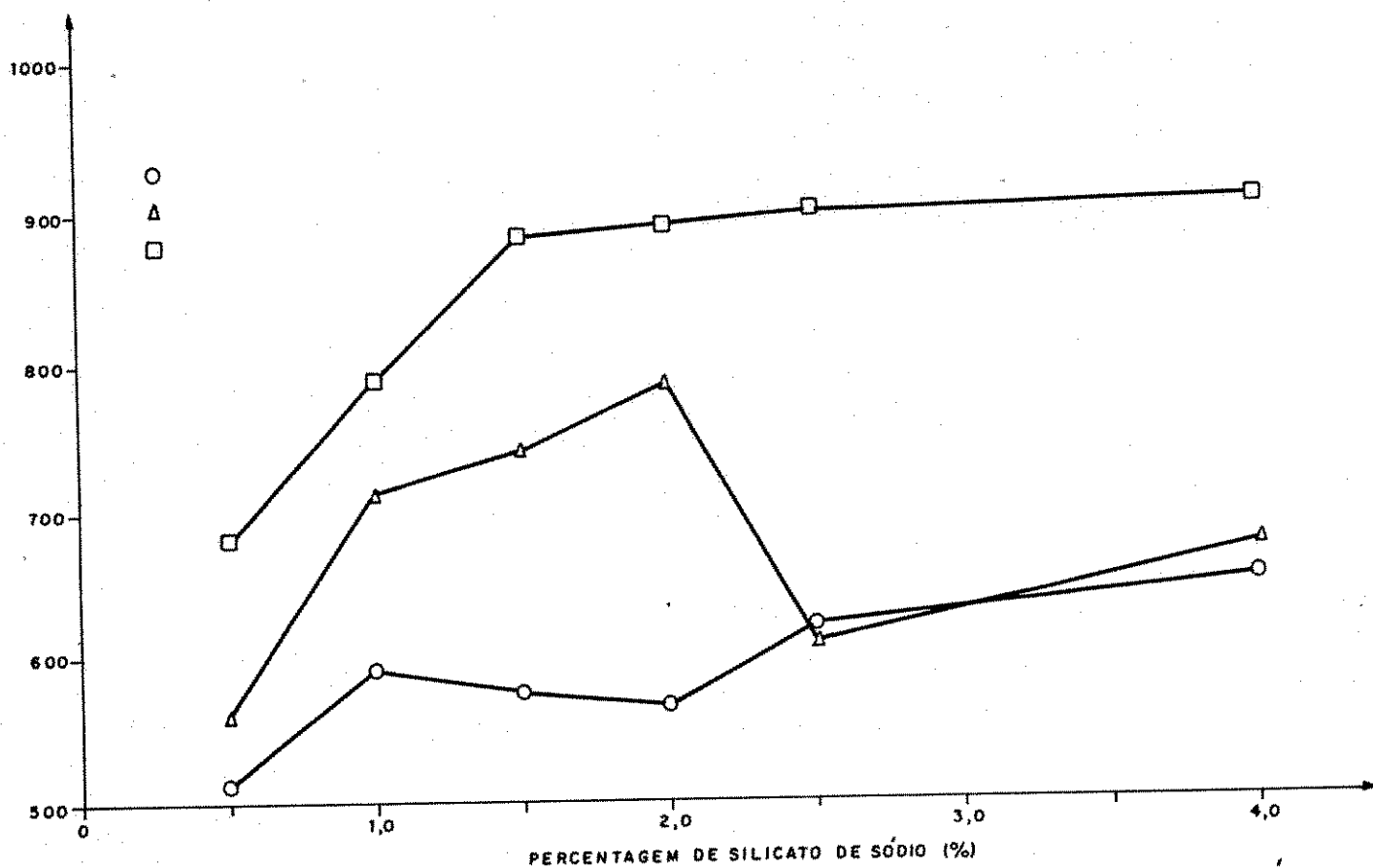


FIGURA 06 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO TEPB COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

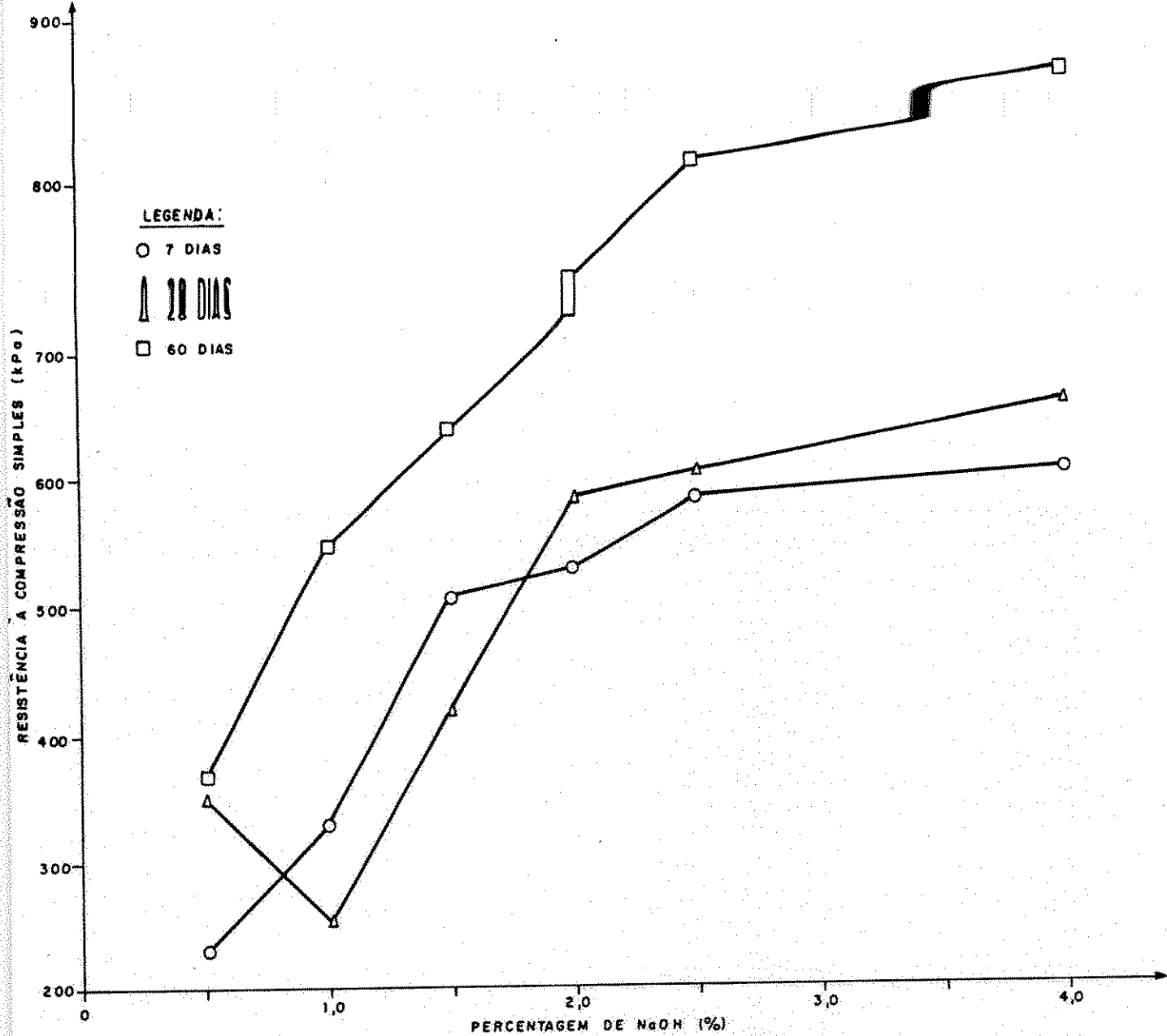


FIGURA 07 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO ARPB COM TRAÇOS DE NaOH

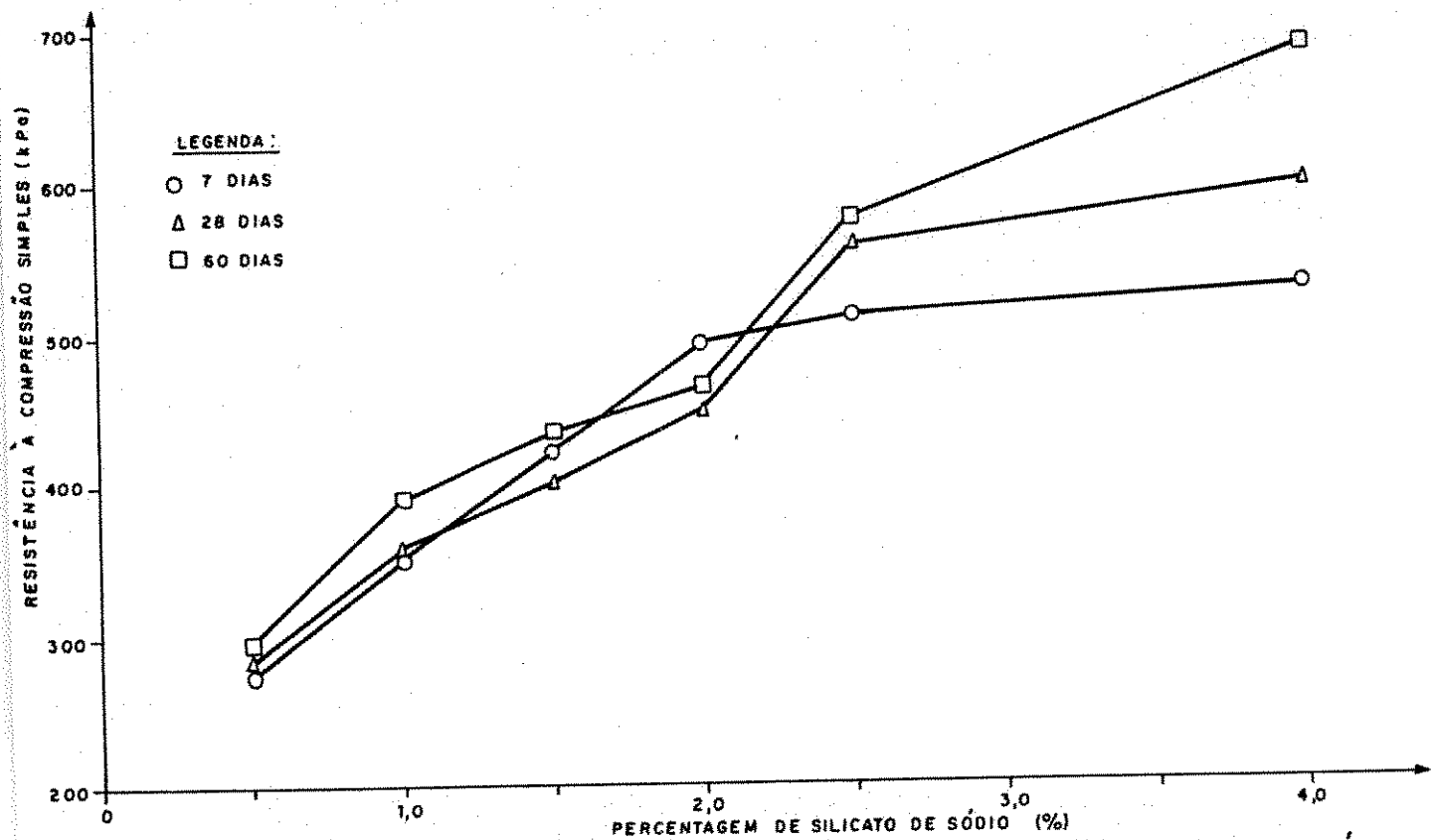


FIGURA 08 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO ARPB COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

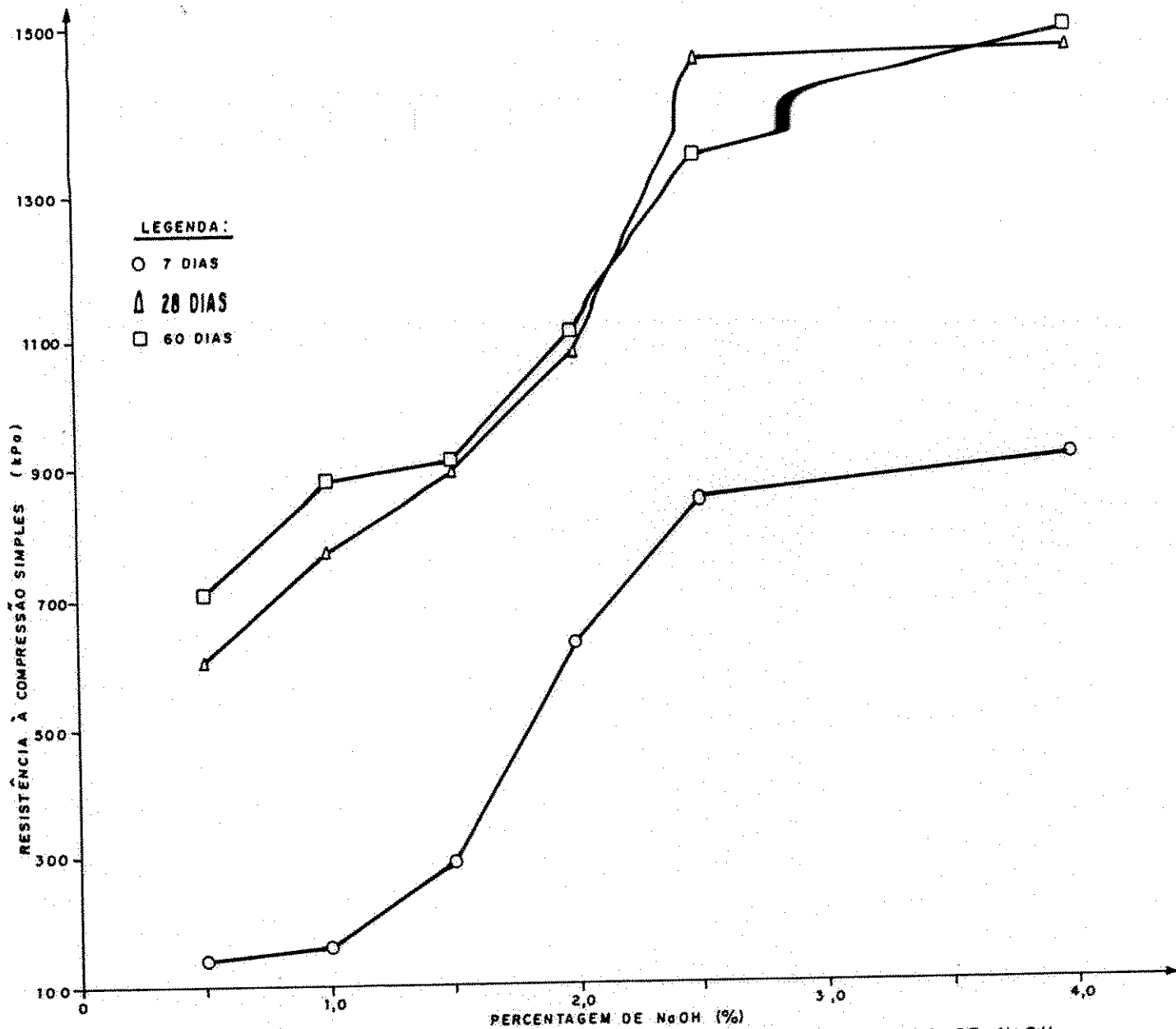


FIGURA 09 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO BUPI COM TRAÇOS DE NaOH

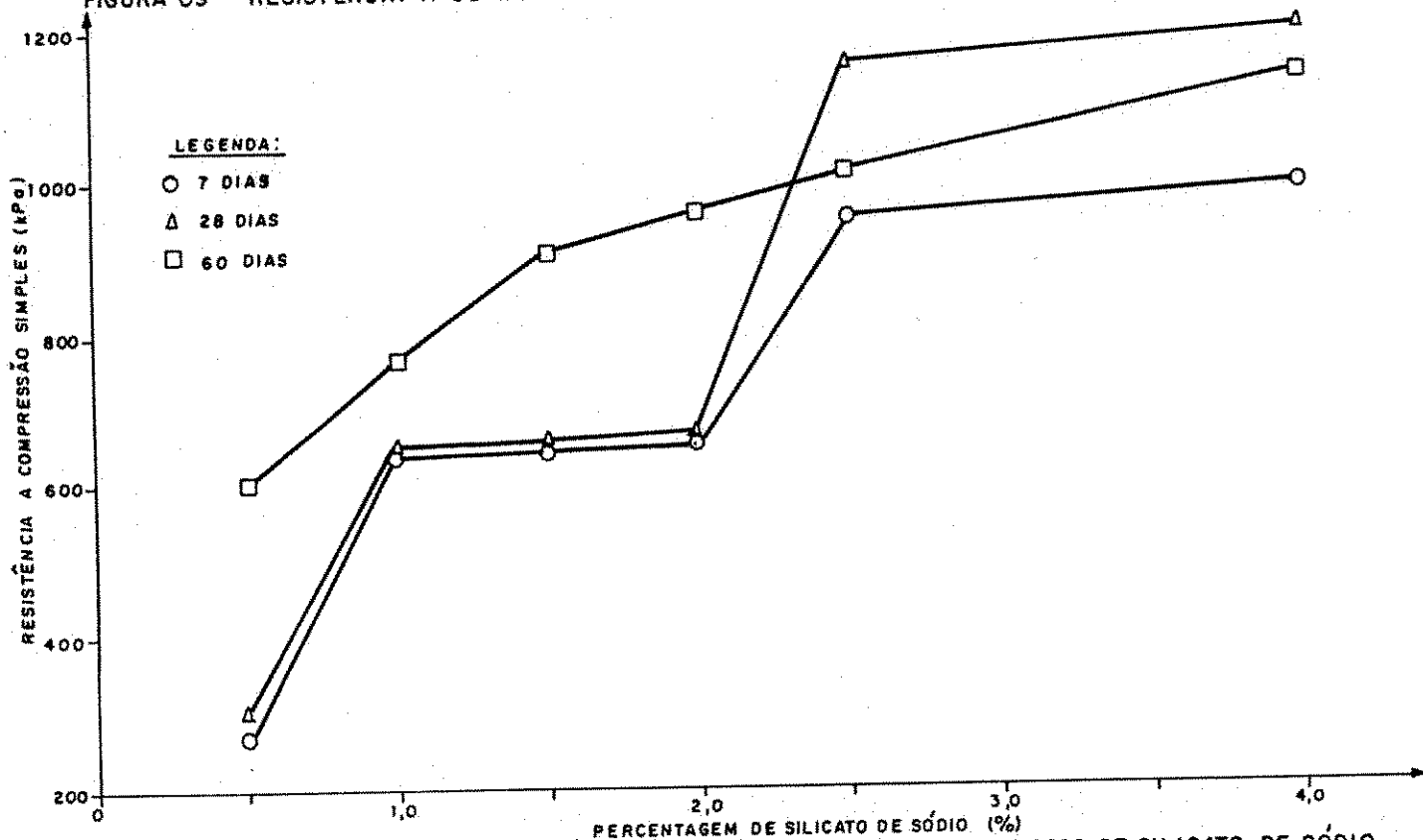


FIGURA 10 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO BUPI COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

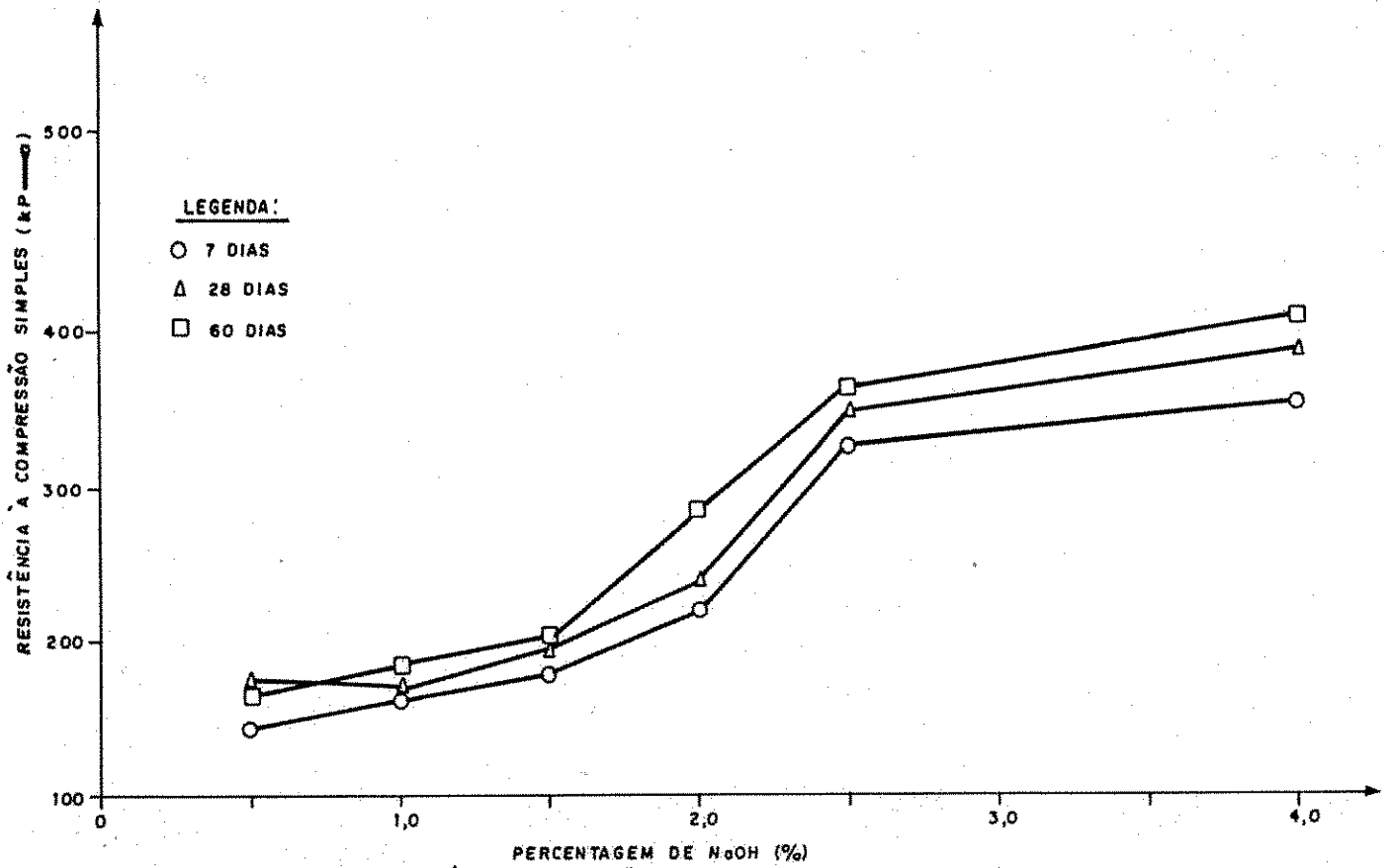


FIGURA 11 — RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO PIPI COM TRAÇOS DE NaOH

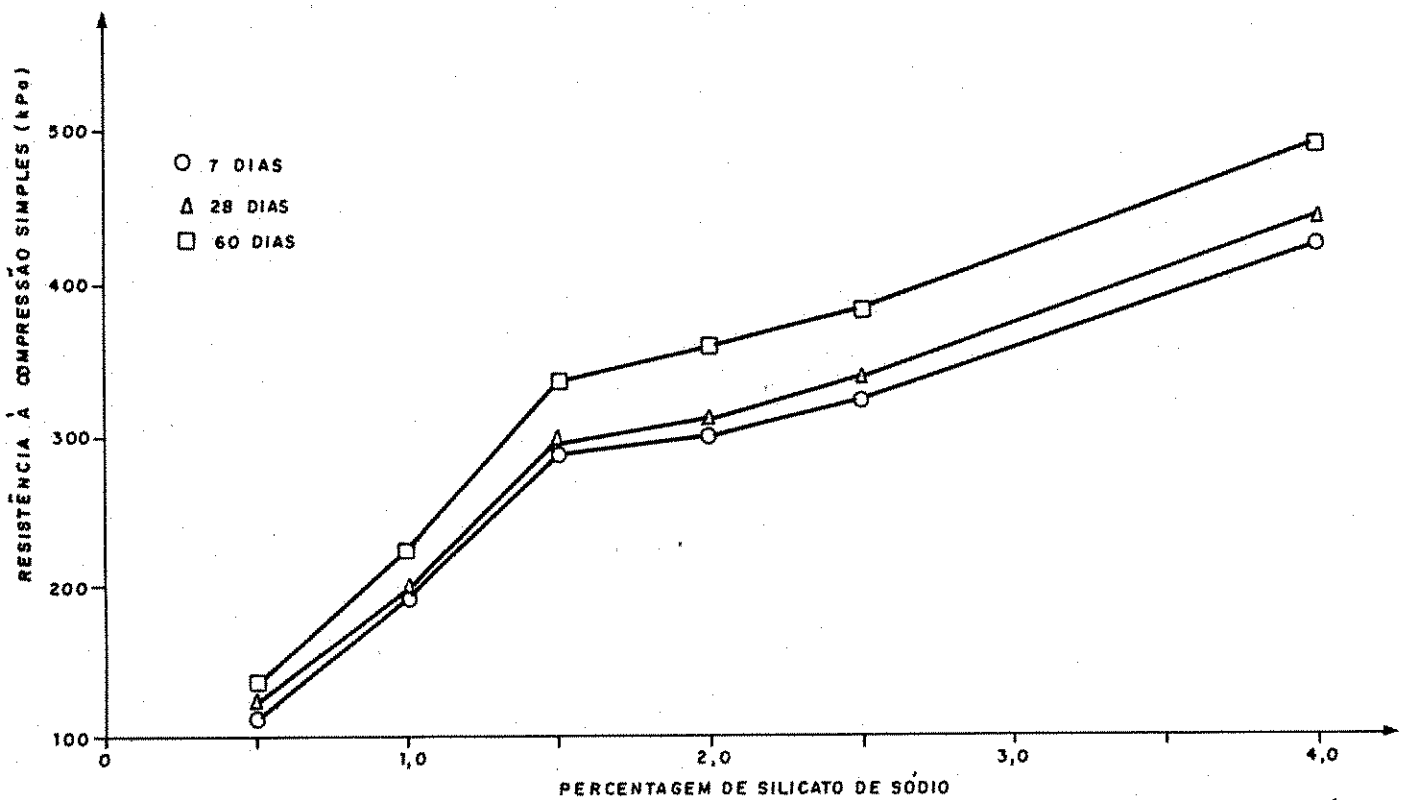


FIGURA 12 — RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO PIPI COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

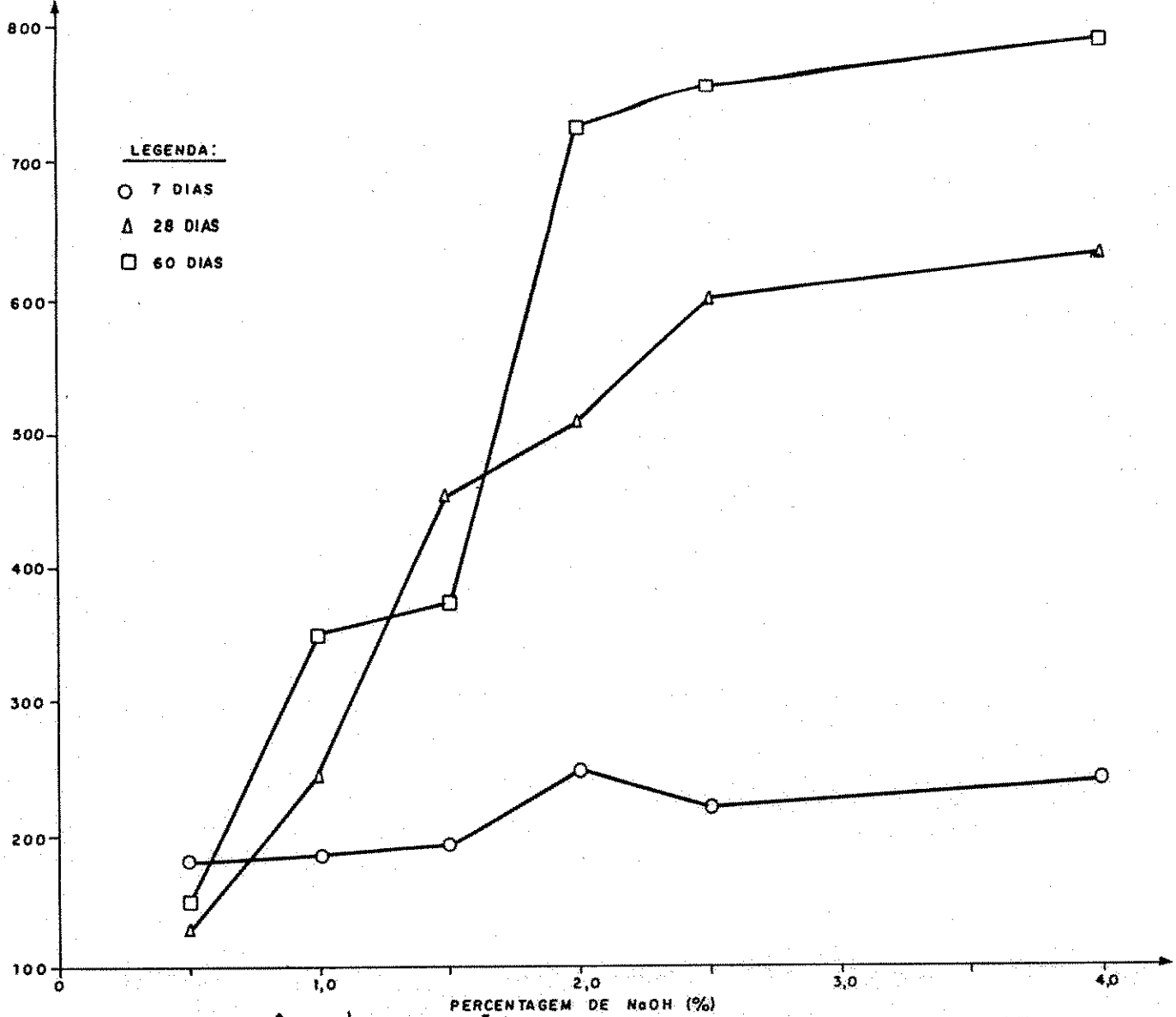


FIGURA 13 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO GIPI COM TRAÇOS DE NaOH

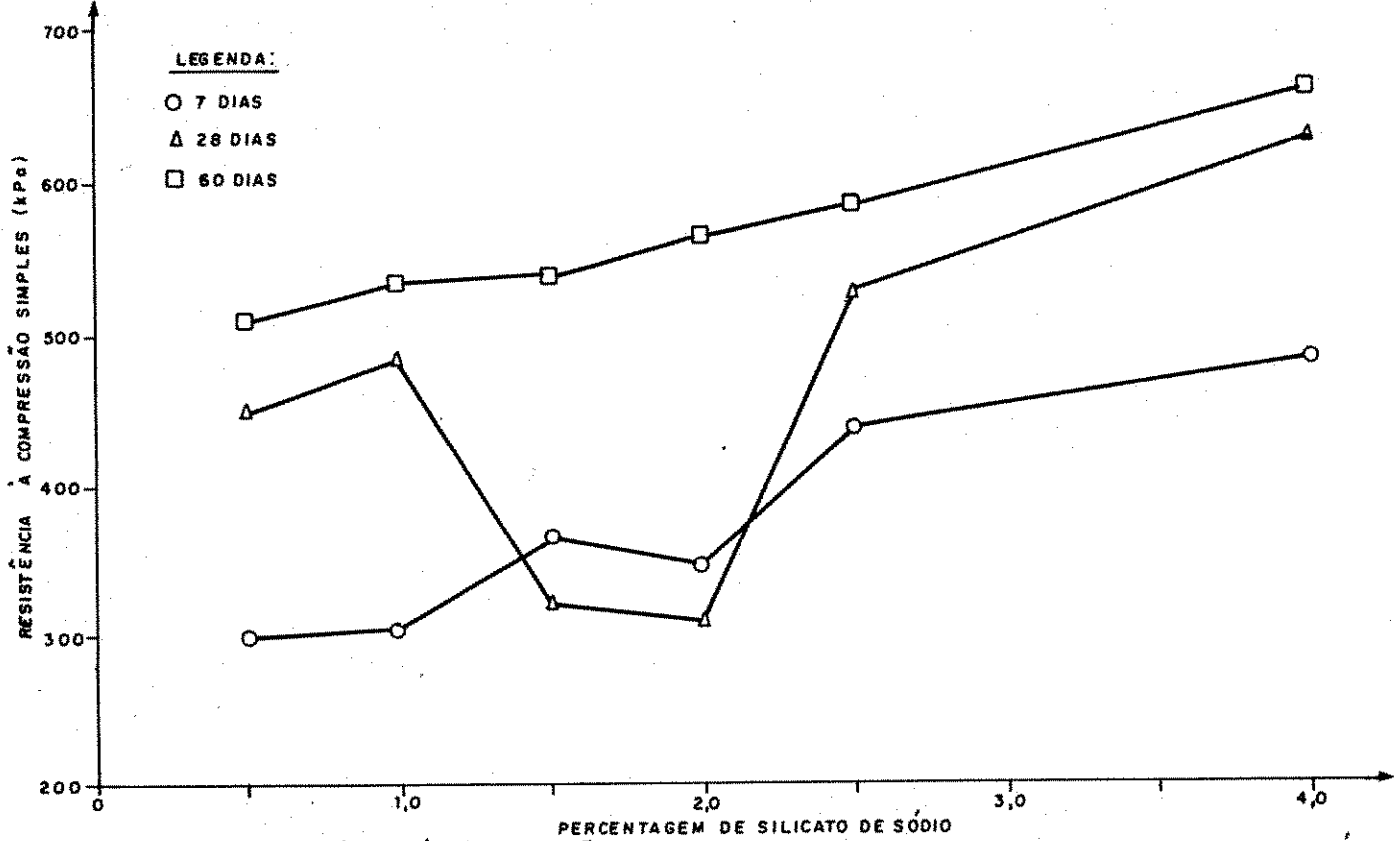


FIGURA 14 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO GIPI COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

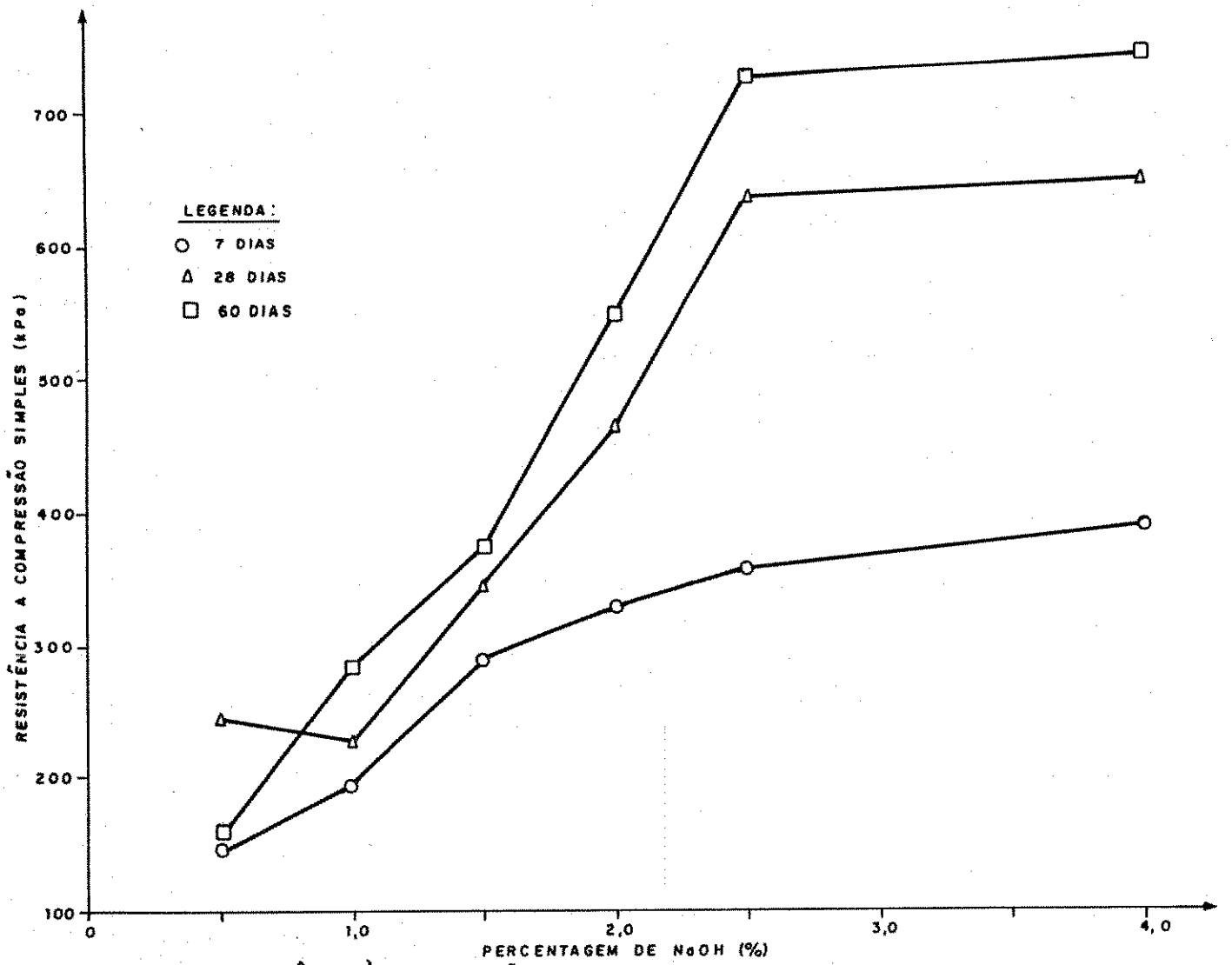


FIGURA 15 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO CAPI COM TRAÇOS DE NaOH

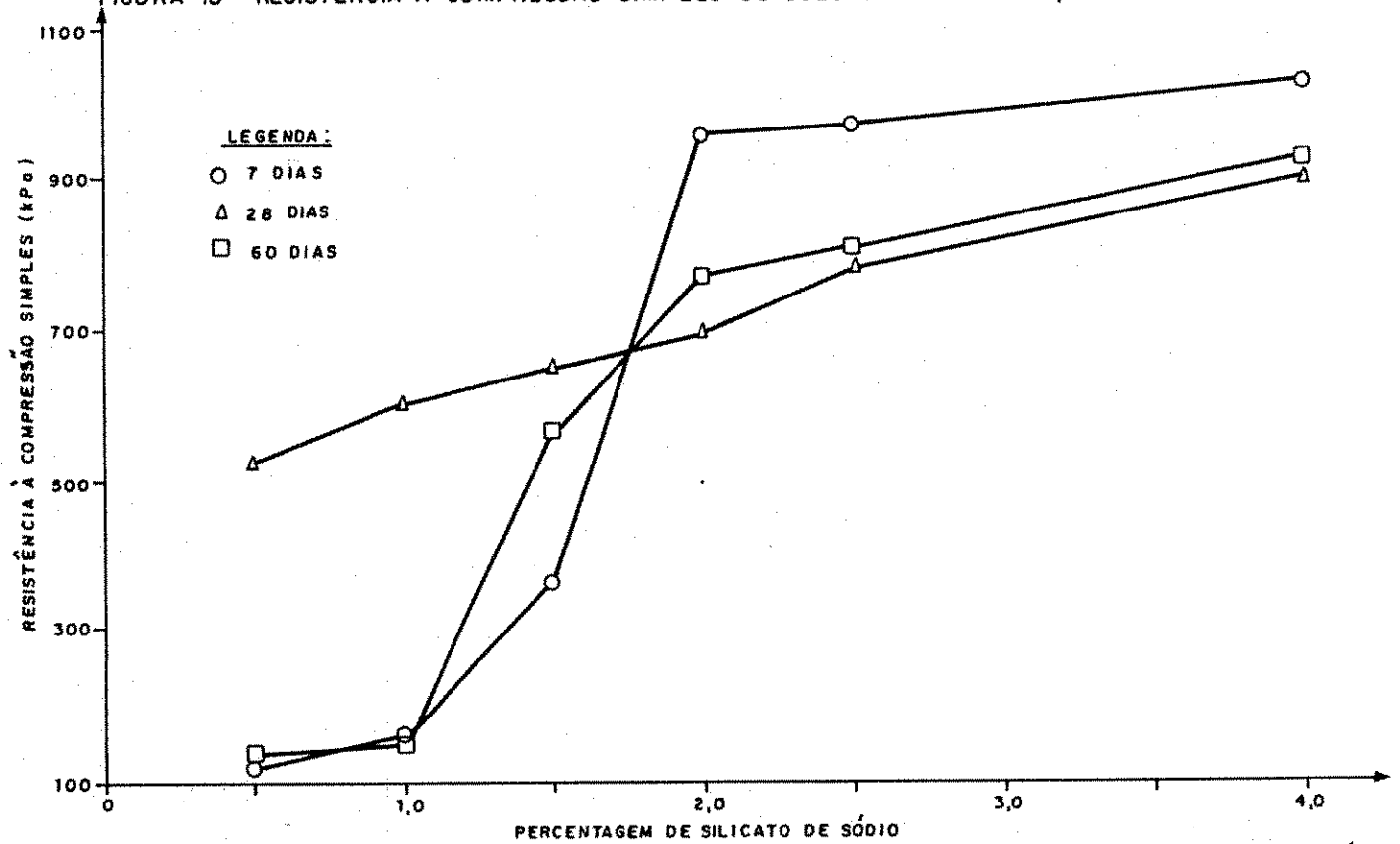


FIGURA 16 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO CAPI COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

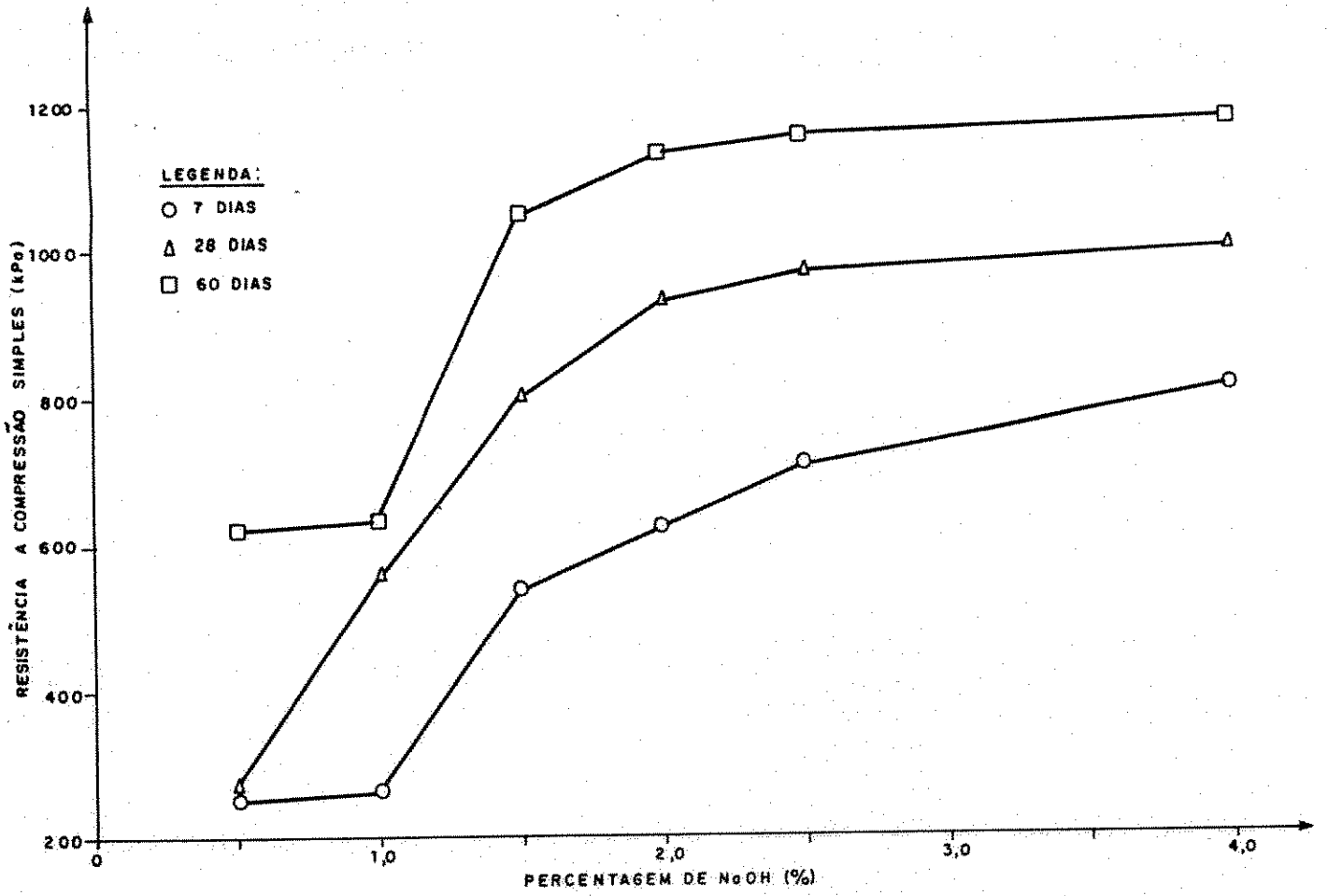


FIGURA 19 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO VGMA COM TRAÇOS DE NaOH

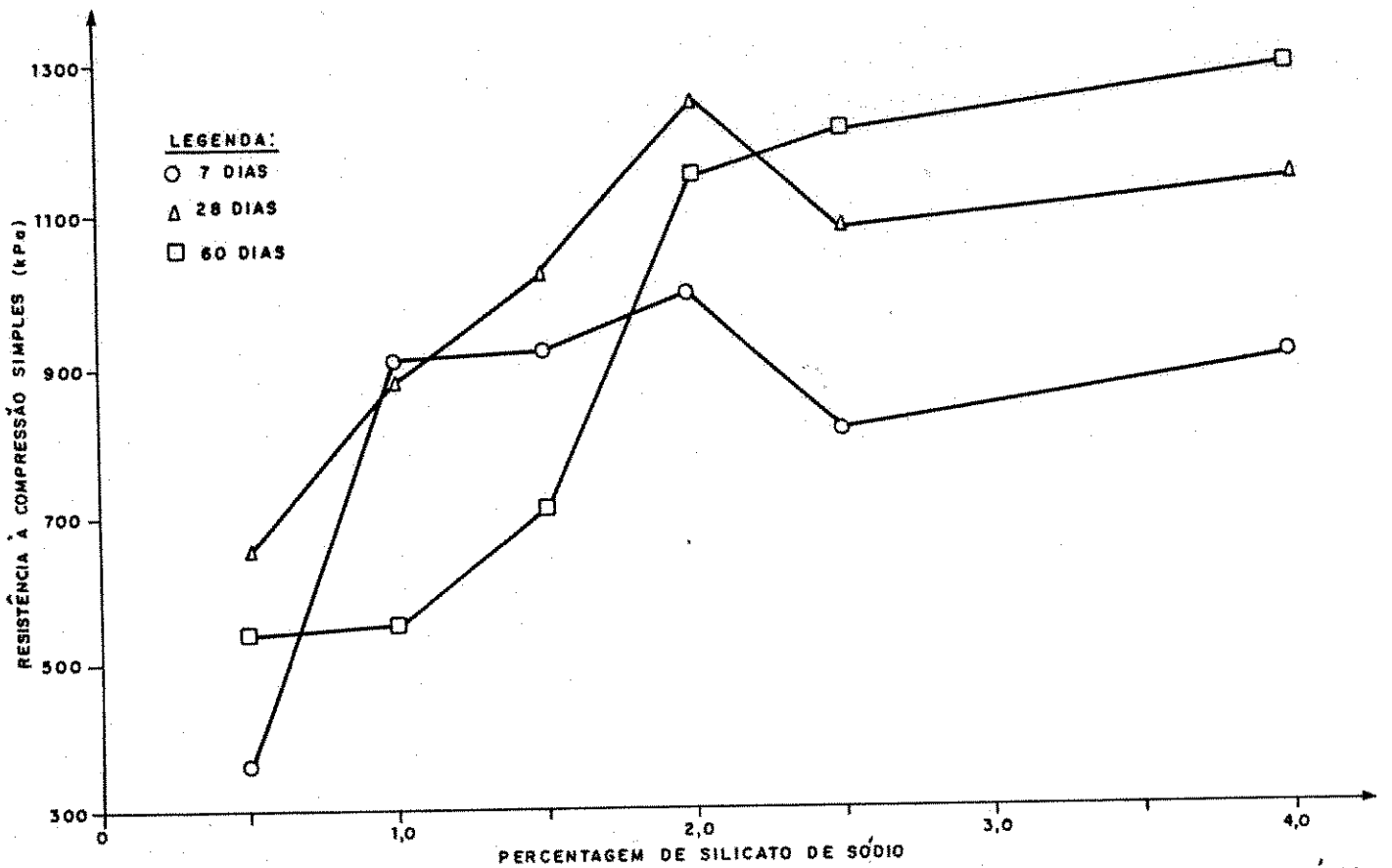


FIGURA 20 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES DO SOLO VGMA COM TRAÇOS DE SILICATO DE SÓDIO

APENDICE A

SIMBOLOGIA UTILIZADA

		Unidade
R.C.S.	- Resistência à Compressão Simples	kPa
CTC	- Capacidade de Troca de Cations	meq/100g
$\gamma_{sm\acute{a}x}$	- Máxima Massa Específica Aparente Seca	g/cm ³
w _{ót}	- Umidade Ótima	%
LL	- Limite de Liquidez	%
IP	- Índice de Plasticidade	%
CBR/ISC	- Índice de Suporte California	%
pH	- Potencial Hidrogeniônico	
R	- A Diferença da Resistência à Compressão Simples com Cal e aditivo secundário e a Resistência à Compressão Simples com Cal	kPa
R ¹	- A Diferença da Resistência à Compressão Simples com Cal e aditivo secundário e a Resistência à Compressão Simples no estado natural.	kPa
e	- A Diferença entre a Resistência à Compressão Simples com Cal e silicato de sódio e a Resistência à Compressão Simples com Cal e NaOH	kPa
R	- Coeficiente de Correlação	
S	- Nível de Significância	

APÊNDICE B

METODO DE ENSAIO UTILIZADO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES.

A metodologia para determinação da resistência à compressão simples não-confinada de solos vermelhos tropicais, baseia-se nos trabalhos de Thompson (1966), Queiroz de Carvalho (1979), Aflitos (1980) e Neves (1989).

Amostra

As amostras utilizadas foram beneficiadas em peneira ABNT 9,5mm (3/8"), obtida antes por quarteamento.

Para determinação da resistência à compressão simples, as amostras foram colocadas em um cilindro de 5cm de diâmetro (d) por 10cm de altura (h) compactada estatisticamente em molde projetado para tal fim. A quantidade de solo necessária à moldagem do corpo de prova para compactação estatística é baseada na seguinte expressão:

$$P_s = \gamma_s \times V_1$$

$$P_h = P_s (1 + h_i)$$

$$V = \frac{D^2 \times h}{4}$$

$$P_a = P_s \times [(h_{ot} - h_i) / 100]$$

$$P_{cal} = P_s \times (\%)_{cal}$$

onde:

P_s -> massa do solo seco, em g;

- γ_s -> massa específica aparente máxima obtida no ensaio de compactação dinâmica, em g/cm³;
- d -> diâmetro interno do cilindro, em cm;
- Ph -> massa do solo úmido a ser utilizado no ensaio de resistência à compressão simples, em g;
- hot -> umidade em que se deseja moldar, em (%);
- hi -> umidade higroscópica, em (%);
- Pa -> massa da água a adicionar a fim de obter a umidade desejada, em g;
- Pcal -> massa da cal a ser adicionada em relação ao Ps; tomada em função da percentagem da cal no ensaio, em g.

Inicialmente a carga foi aplicada no topo do cilindro, até se obter um corpo de prova com 12,5cm +- 0,1cm de altura. A seguir o molde foi invertido e aplicado uma carga na base do cilindro até uma altura de 10cm +- 0,1cm, deixada durante o tempo de 2min. Após a moldagem, os parâmetros massa específica aparente seca máxima e umidade ótima foram verificados de forma a se reproduzir os dados obtidos no ensaio dinâmico. Quando os resultados da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima dos corpos de prova diferiam +- 5,0% dos valores do ensaio dinâmico, novos corpos de prova foram moldados.

A) Determinação da Resistência à Compressão Simples.

O ensaio de resistência à compressão simples foi realizado com deformação controlada a uma velocidade de 0,8mm/min.

O aparelho para determinação da resistência à compressão simples foi constituído de pratos entre os quais os corpos de prova foram comprimidos, sendo as deformações medidas

por um deflectômetro e a carga por um anel dinamométrico. O valor máximo da carga aplicada dividido pela área do corpo de prova foram os valores da resistência à compressão simples.