

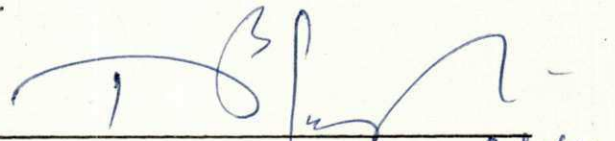
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT

UM ESTUDO SÔBRE AS PROPRIEDADES DE RESIS  
TÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO LATERÍTICO

Bernardo Borges Pompeu Neto  
Engenheiro Civil

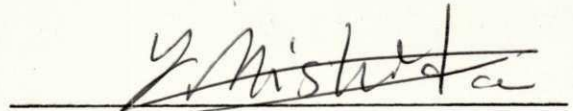
TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc).

APROVADA POR:



PROF. PARATE N. S.  
PRESIDENTE

20/5/76



PROF. Y. NISHIDA  
EXAMINADOR EXTERNO



PROF. V. B. SOARES  
EXAMINADOR INTERNO

CAMPINA GRANDE  
ESTADO DA PARAÍBA-BRASIL  
MAIO - 1976



P788e Pompeu Neto, Bernardo Borges.  
Um estudo sobre as propriedades de resistência mecânica de concreto laterítico / Bernardo Borges Pompeu Neto. - Campina Grande, 1976.  
92 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1976.  
"Orientação : Prof. Parate N. S."  
Referências.

1. Concreto Laterítico. 2. Resistência Mecânica. 3. Agregados Lateríticos. 4. Dissertação - Ciências. I. S., Parate N. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 666.97(043)

A STUDY OF STRENGTH  
PROPERTIES OF LATERITIC CONCRETE

M.Sc. Dissertation

by

Bernardo Borges Pompeu Neto

ABSTRACT

This thesis deals with the investigation of concrete using lateritic aggregates instead of rock aggregates. The investigation is of particular importance due to the abundant easy availability of laterite aggregates & shortage of rock aggregates in tropical and subtropical regions of North (Amazonia) and Northeast of Brasil.

The aim of this research has been to study the engineering properties and behaviour of this type of concrete with particular emphasis on strength properties. Various mixes of concrete-aggregates for different water-cement ratios were studied during the course of this project.

It is observed and concluded that this type of concrete behaves identically similar as normal concrete, while not necessitating costly operation required for rock aggregates (blasting, crushing, transporting etc).

It is concluded that this lateritic concrete can be safely used or replaced in number of cases as economic viable construction material for light structures, roadbase materials or mass concrete.

UM ESTUDO SÔBRE AS PROPRIEDADES DE RESIS  
TÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO LATERÍTICO

Tese de Mestrado

por

Bernardo Borges Pompeu Neto

Resumo

Este trabalho trata da investigação do concreto utilizando agregados lateríticos em substituição aos agregados de rocha. A pesquisa é de particular importância devido a abundância de agregados lateríticos e escassez de agregados de rocha nas regiões tropicais e sub-tropicais no Norte e Nordeste do Brasil.

A finalidade desta pesquisa foi estudar o comportamento e as propriedades de engenharia deste tipo de concreto dando ênfase particular às propriedades de resistência. Diversas misturas de concreto para diferentes fatores ãgua/cimento foram estudadas durante a realização deste trabalho.

Foi observado que este tipo de concreto apresenta comportamento similar ao do concreto normal, não necessitando contudo das custosas operações exigidas pelos agregados de rocha (explosão, transporte, britagem, etc.).

Conclui-se que este concreto laterítico pode ser usado com segurança em diversos casos como material de construção economicamente viável nas obras de engenharia de menor porte, base de rodovias, ou massas de concreto.



## Í N D I C E

CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
	Introdução	3
	Propriedades dos agregados que influen <u>ciam</u> no comportamento do concreto	3
	Concreto fresco	13
	Resistência do concreto	15
	Lateritas: definições e classificação	19
	Alguns estudos sobre o concreto late <u>ri</u> tico	21
CAPÍTULO III	OBJETIVO	23
CAPÍTULO IV	MATERIAIS	24
	Solos	24
	Localização e coleta das amostras	24
	Cimento	26
	Areia	26
CAPÍTULO V	MÉTODOS DE ENSAIOS	31
	Introdução	31
	Peso unitário	31
	Densidade real	34
	Desgaste	34
	Tenacidade	34
	Determinação do teor de materiais pul <u>ve</u> rolentos	34
	Determinação do teor de argila em tor <u>ç</u> ões no agregado	36
	Absorção	36
	Percentagens de vazios	36
	Granulometria do agregado graúdo e mi <u>ú</u> do	36
	Mistura	36
	Moldagem e cura de corpos de prova ci <u>l</u> índricos de concreto	37
	Teste de abatimento (Slump)	37

	Vebe teste	37
	Ensaio de compressão	37
	Resistência à tração simples de concreto por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos	40
CAPÍTULO VI	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
	Propriedades físicas do agregado	42
	Trabalhabilidade	43
	Resistência à compressão	43
	Resistência à tração	50
	Relação entre os valores da resistência à compressão simples e resistência à tração para o concreto laterítico	55
CAPÍTULO VII	CONCLUSÃO	61
CAPÍTULO VIII	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	63
	BIBLIOGRAFIA	64
	AGRADECIMENTOS	67
APÊNDICE A	ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS AGREGADOS GRAÚDOS E MIÚDOS	68
APÊNDICE B	CÁLCULO DAS PERCENTAGENS EM PESO DA AREIA E DO AGREGADO GRAÚDO	70
APÊNDICE C	TABELAS CONTENDO OS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES E A TRAÇÃO	72
APÊNDICE D	COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA CURVA DE FULLER E RELAÇÃO ENTRE AGREGADO MIÚDO E GRAÚDO	91

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

No estudo do concreto os agregados desempenham um importante papel na mistura com as argamassas, quer do ponto de vista econômico como técnico, pois ocupam, no mínimo, cerca de 3/4 do volume do concreto, influenciando consideravelmente nas propriedades quer do concreto fresco como do concreto endurecido (1).

O agregado não é utilizado no concreto somente por razões econômicas. Ele confere consideráveis vantagens técnicas ao concreto, o qual tem um maior volume, estabilidade, e uma melhor durabilidade do que a pasta de cimento, sozinha (2).

Geralmente os trabalhos realizados pelos engenheiros em construções de casas, lastros para recobrimento de rodovias, ou ainda em obras de arte, dependem em grande parte do material que se dispõe para realizar essas tarefas, e um destes materiais é sem dúvida a laterita, que existe naturalmente em abundância nos climas tropicais, despertando um interesse para estudo, tanto nos meios rodoviários, como em construção civil.

Sendo o Brasil um país de clima tropical, em certas regiões (Norte-Nordeste) o agregado natural mais abundante é a laterita, e um dos problemas mais comuns que os engenheiros tem que enfrentar é a utilização desse material local a fim de que se possam construir obras de baixo custo. No entanto a utilização desse material como agregado para concreto não foi, ainda, claramente estudado no Brasil.

A utilização da laterita em concreto já é muito comum no Norte do país. Peças menos importantes como meio-fios, valetas e bocas de bueiro, nas imediações do Aeroporto de Val-de-Cans, em Belém do Pará, foram executados com um concreto de laterita e cimento.

Na cidade de Marabá no Pará, foi feita uma caixa d'água elevada de concreto armado, onde o agregado é to

do constituído de Piçarra (1). Existe, também, o caso da Be  
lém-Brasília, onde a falta de pedra na Região obrigou os Enge  
nheiros de estrada a executarem as obras de artes correntes  
com o concreto feito com a laterita, abundante na Região.

No Amapá, devido a falta de granito ou Gnais  
se ã uma distância econômica de transporte, foram construídos  
com o concreto laterítico um hospital, um matadouro e um grupo  
escolar.

As experiências brasileiras neste campo de  
utilização da laterita é muito desordenada, sem cunho científi  
co, partindo mais da necessidade da utilização desse material  
com fins econômicos do que técnico. Justifica-se assim a neces  
sidade da realização de pesquisas que visem fornecer um conhe  
cimento técnico mais acurado do comportamento do concreto que  
utilize como agregado, constituíntes lateríticos, a fim de que  
no futuro seu emprego nas obras de engenharia se torne mais ra  
cional.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### Introdução

Esta revisão bibliográfica apresenta um estudo sucinto de diversos tópicos que são de grande importância para a realização deste trabalho. Serão desenvolvidos os seguintes itens:

1. Propriedades dos agregados que influenciam no comportamento do concreto
2. Concreto fresco
3. Resistência do concreto
4. Laterita: definição e classificação
5. Alguns estudos apresentados sobre concreto com agregados lateríticos.

#### Propriedades dos Agregados que Influenciam no Comportamento do Concreto

Todas as partículas de agregado originariamente fizeram parte de uma maior massa que pode ter sido fragmentada por processos naturais de intemperismo e abrasão ou artificialmente por britagem. Assim, muitas propriedades do agregado dependem fundamentalmente das propriedades da rocha de origem, como por exemplo sua composição química e mineralógica, descrição petrográfica, densidade real, dureza, resistência, estabilidade física e química, cor, etc. Por outro lado, existem outras propriedades do agregado que independem das rochas de origem, tais como: forma e tamanho das partículas, textura e absorção (2).

Para avaliar a qualidade dos agregados com fins de utilização em concreto, é essencial considerar muitas das propriedades físicas com relação a seu efeito sobre o concreto tanto no estado plástico como no estado endurecido (3).

Geralmente o agregado para ser utilizado no

concreto tem que ser duro, forte, durável, limpo e livre de ca  
madas aderentes, deve apresentar limites específicos para impu  
rezas, mínima resistência e enquadrar-se nas especificações  
de graduação existentes. As propriedades físicas do agregado  
podem ser divididas em dois grupos: aquelas que são próprias e  
não podem ser controladas e aquelas sobre as quais se pode e  
xercer algum grau de controle (3).

Propriedades inerentes que não podem ser controladas

Resistência. No concreto que utiliza agregado natural, a resis  
tência ã compressão não pode exceder a da maior parte do agre  
gado contido nele.

Se depois de um corpo de prova de concreto  
ter sido rompido a maioria dos agregados contido nele se apre  
sentarem fraturados, então a resistência do agregado é mais  
baixa que a resistência da mistura de concreto. Neste caso es  
ses agregados so podem ser usados em concreto de baixa resis  
tência (2).

Uma inadequada resistência do agregado repre  
senta um caso limite pois as propriedades dos agregados têm  
alguma influência na resistência do concreto, mesmo que ele se  
ja suficientemente forte para não fraturar prematuramente (2).

Segundo S. Walker e D. L. Bloem (4), compa  
rando concretos feitos com agregados diferentes, observa-se  
que a influência do agregado sobre a resistência do concreto é  
qualitativamente a mesma, qualquer que sejam as proporções da  
mistura, e é a mesma quer sejam os corpos de prova ensaiados ã  
tração ou ã compressão.

É possível que a influência do agregado so  
bre a resistência do concreto seja devido não somente a resis  
tência mecânica do agregado, mas também a um considerável grau  
de absorção e características de aderência.

Geralmente a resistência e elasticidade do  
agregado dependem de sua composição, textura e estrutura. Des  
se modo, uma baixa resistência pode ser atribuída ã fragilida  
de dos constituintes dos grãos, ou quando os grãos se apresen  
tem suficientemente fortes, ã fracas forças de ligação.



Geralmente o valor médio da resistência à compressão do agregado é aproximadamente de  $2100 \text{ Kgf/cm}^2$  embora muitos agregados considerados excelentes estejam em uma faixa inferior a  $850 \text{ Kgf/cm}^2$ . Nota-se que a resistência exigida para o agregado é muito maior do que a faixa normal da resistência exigida para o concreto, justificando-se isso pelo fato de que a tensão no ponto de contato das partículas individuais dentro do concreto pode estar longe da tensão de compressão nominal aplicada.

Um agregado de resistência moderada ou baixa pode ser importante para preservar a durabilidade do concreto. Variações de volume no concreto produzidas por mudanças térmicas proporcionam uma tensão mais baixa na pasta de cimento quando o agregado é compressível. Assim, a compressibilidade do agregado reduziria o efeito da tensão no concreto, enquanto um agregado forte e rígido pode provocar fissuras na pasta de cimento em torno do agregado.

Tenacidade e abrasão são outras propriedades mecânicas de interesse no estudo dos agregados, especialmente quando sujeitos a alto desgaste (2).

Rigidez. O termo rigidez é aplicado à capacidade de um agregado manter volume constante e resistir à desintegração quando sujeito a ciclos de secagem-molhagem, congelamento-degelo e aquecimento-resfriamento (5).

O agregado é considerado instável quando as variações de volume, induzidas pelas trocas dos fatores acima citados, provocam a deterioração do concreto (2).

Alguns agregados contendo certos minerais como sílica opalina ou calcedônia podem combinar com os álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) do cimento dando reações que provocam a desintegração do concreto (1).

Outros agregados contendo minerais oxidáveis, notadamente clorophacite em alguns doleritos, a qual expande na oxidação causando desintegração. Há contudo muitos doleritos que são utilizáveis. Pirita e marquesita são outros minerais oxidáveis que podem ocorrer esporadicamente em certos agregados provocando menos danos. Esses minerais quando oxidam na presença da água formam ácidos sulfúricos livres que atacam

o concreto. Normalmente esse fenômeno não provoca fracasso estrutural mas seus efeitos são em geral desagradáveis (3).

Os agregados mais susceptíveis ao perigo de fracasso são: Calcedônia, xistos, algumas pedras calcárias, principalmente as laminadas, e algumas pedras arenosas. Uma característica comum a essas rochas é sua alta absorção, mas deve ser enfatizado que muitas rochas duráveis apresentam também uma alta absorção (2).

Muitos ensaios sobre os agregados foram desenvolvidos com o objetivo de prever a durabilidade dos concretos que os utilizam. Estes ensaios podem ser executados tanto no agregado quanto no concreto, e incluem ensaios de congelamento degelo e ensaios de sais em que é utilizado sulfato de sódio ou de magnésio (2).

Densidade. Como o agregado geralmente contém poros, permeáveis e impermeáveis, o significado do termo densidade tem sido cuidadosamente definido, existindo assim diversos tipos de densidade (2).

Do ponto de vista químico existe uma única densidade aparente. A densidade real é a razão do peso no ar de um volume de agregado, incluindo os vazios permeáveis e impermeáveis, para o peso no ar de igual volume de água destilada. Densidade aparente é a razão do peso no ar de um volume de agregado (incluindo os vazios impermeáveis, mas não os vazios permeáveis), para o peso no ar de igual volume de água destilada (6).

A densidade real normalmente não é utilizada em trabalhos de tecnologia do concreto, enquanto a densidade aparente do agregado é necessária para o cálculo do volume do concreto ou da quantidade de agregado requerida para um dado volume de concreto, embora não seja uma medida de qualidade do agregado.

A densidade aparente do agregado depende dos seus minerais componentes e também da quantidade de vazios. A maioria dos agregados naturais tem uma densidade entre 2,6 e 2,7, normalmente apresentando valores mais altos para os mais ricos em óxidos de ferro (6).

Absorção. As características dos poros dos agregados são de muita importância para o estudo de suas propriedades. A porosidade, a permeabilidade e a absorção do agregado influenciam sua ligação com a pasta de cimento, a resistência do concreto à congelamento e degelo, bem como sua estabilidade química e resistência à abrasão (2).

Os agregados menos duráveis usualmente têm uma alta absorção, mas alguns agregados considerados duráveis também apresentam alta absorção. O efeito depende do tamanho, da continuidade e da distribuição dos poros (4).

Como o agregado representa 3/4 do volume no concreto, é evidente que sua porosidade contribui bastante na porosidade total do concreto.

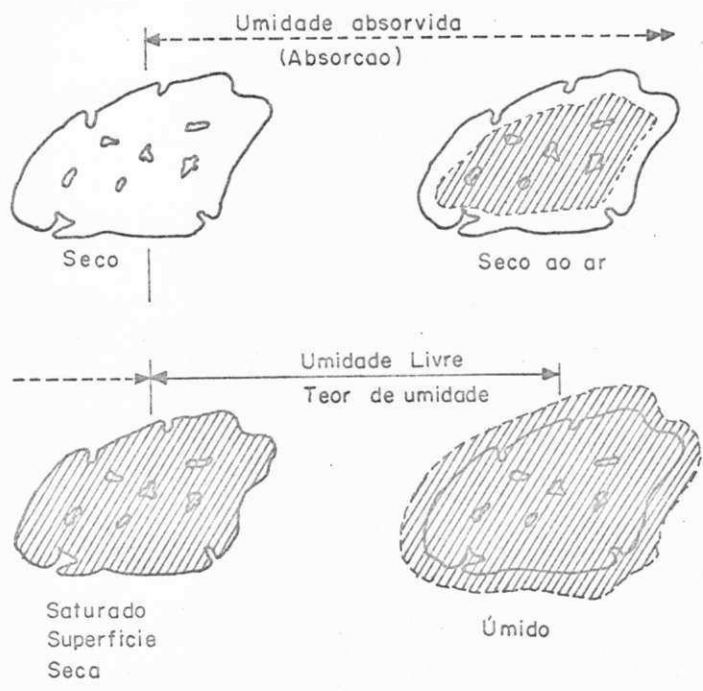
O agregado que apresenta todos os poros cheios de água é chamado "saturado e superfície seca". Se nesta condição ele é seco ao ar, determinada quantidade de água existente nos poros vai evaporar, permanecendo apenas uma umidade interna, sendo neste caso chamado de "seco ao ar". Se a secagem é prolongada em uma estufa a umidade do agregado é reduzida até sua secagem completa, sendo então chamado de "completamente seco". Estes vários estágios são mostrados na Figura 2.1.

Quando se utiliza um fator água/cimento é importante dizer se ele é calculado em função da quantidade de água livre ou em função da quantidade de água total. A água livre é a quantidade de água adicionada quando da mistura mais a quantidade de água mantida sobre a superfície do agregado antes da mistura. Água total é a água livre mais a quantidade de água absorvida pelo agregado (4).

Da quantidade de água adicionada para mistura, a que é absorvida pelo agregado pode afetar a trabalhabilidade e a resistência do concreto. Para manter controle sobre esses fatores é entretanto necessário conhecer o valor da absorção dos agregados. Quando esta é conhecida, a quantidade de água adicionada à mistura deve ser aumentada se o agregado está seco para compensar a quantidade de água que será por ele absorvida (3).

Segundo McIntosh (7) a absorção é mais rápida nos primeiros 10 a 15 minutos depois de adicionar a água para a mistura, devendo portanto a trabalhabilidade ser medida





atê 15 minutos apôs a mistura ser efetuada.

Newman (8) executou ensaios com agregados úmidos e secos para analisar a influência da absorção do agregado no fator água/cimento. Os resultados deste trabalho indicam que seixos saturados produzem concreto com resistência mais alta para a mesma compacidade do que aquele supostamente similar mas que utilizava os agregados secos. Ele conclui que o fator água/cimento efetivo para resistência deve ser baseado no conteúdo de água livre disponível quando a pasta endurece, e supõe que o fator água/cimento efetivo para trabalhabilidade pode ser baseado no grau de saturação que seria alcançado durante o ensaio de trabalhabilidade pelo agregado inicialmente seco, quando imerso em água.

A absorção do agregado é determinado pela medida do aumento em peso pela amostra seca em estufa quando imersa em água por 24 horas, sendo a água de superfície removida. A razão do aumento em peso para o peso da amostra seca expressa em percentagem, é chamada absorção.

Peso unitário. O peso unitário é o peso da unidade de volume aparente do agregado, isto é, incluindo no volume os vazios entre grãos.

Sua importância decorre da necessidade na dosagem do concreto da transformação de traços em peso para volume, e vice-versa, bem como para os cálculos de consumo de materiais empregados por metro cúbico de concreto (1).

O peso unitário depende fundamentalmente da maior ou menor arrumação alcançada pelo agregado, e para um material de dada densidade o peso unitário depende da distribuição das dimensões e forma das partículas: partículas de um tamanho uniforme podem alcançar uma arrumação limitada mas partículas menores podem ser adicionadas entre os vazios das partículas maiores, aumentando assim o peso unitário do material arrumado. A forma das partículas afeta bastante sua maior ou menor arrumação.

Para um agregado grosso de uma dada densidade, um mais alto peso unitário implica em um menor volume de vazios a ser preenchido pela areia e cimento (2).

O peso unitário de um agregado dá uma infor



mação valiosa de suas qualidades e propriedades. Se o peso unitário está acima ou abaixo do normal para um tipo particular de agregado, isto pode indicar uma alteração na sua forma ou graduação, e se abaixo, que ocorreu uma decomposição parcial. No caso de rochas sedimentares um baixo peso unitário pode indicar que as mesmas não sofreram um alto grau de compactação como é normal durante sua formação. Em todo caso a resistência do agregado será influenciada. Se o peso unitário é para ser usado como uma verificação na graduação ou qualidade do agregado, será necessário conhecer a graduação apropriada a ser usada no concreto, pois é com essa graduação que o peso unitário terá um maior significado a fim de que as propriedades do concreto sejam atendidas (9).

A forma do recipiente e a quantidade de material são fatores importantes na variação dos resultados dos ensaios executados para a determinação do peso unitário.

O peso unitário real de um agregado depende não somente das várias características do material que determinam o grau de arrumação, mas também da composição real obtida em determinados casos (2).

Forma e textura. A forma geométrica dos agregados graúdos tem grande importância como fator de qualidade dos concretos (1).

Os grãos dos agregados podem ser classificados em quatro tipos: arredondados, irregulares, angulares e laminares. A textura da superfície para fins práticos pode ser classificada como: lisa, áspera ou alveolar (3).

Desde que o grau de arrumação das partículas de uma dimensão depende de sua forma, a angularidade do agregado pode ser estimada da proporção de vazios existentes em uma amostra compactada (2).

A influência na percentagem de vazios pela forma do agregado foi estudada por Shergold que utilizou amostras consistindo de uma mistura de dois tipos de agregados, um angular e outro arredondado, em várias proporções, e concluiu que aumentando a proporção de partículas arredondadas diminui a percentagem de vazios.

Um outro aspecto da forma do agregado grosso é sua esfericidade, definida como uma função da razão entre a

área da superfície da partícula e seu volume.

Partículas com alta esfericidade são de particular interesse pois diminuem a trabalhabilidade da mistura. Isto ocorre normalmente nas partículas alongadas e laminadas. As últimas podem também afetar a durabilidade do concreto (2).

A forma e a textura podem influenciar consideravelmente a resistência do concreto. A resistência à flexão é mais afetada do que a resistência à compressão, e os efeitos da forma e da textura são particularmente significativos no caso de concreto de alta resistência.

A influência da forma e da textura na resistência ainda não foi bem determinada, mas é possível que quanto mais alta a textura, mais alta seja a forma adesiva entre as partículas e a matrix de cimento, de modo que quanto maior a área da superfície do agregado angular, maior poderá ser a força adesiva desenvolvida.

A forma arredondada apresenta na arrumação um menor índice de vazios do que as angulares. Em consequência, pode-se preparar um concreto com menor quantidade de areia e isso implicará por sua vez na exigência de um menor fator água/cimento, pois a mistura apresenta uma menor superfície específica. Atendendo ainda o fato de que as formas dos grãos facilita seu movimento, o concreto com partículas arredondadas são mais trabalháveis com relativamente pouca água (1).

As partículas angulares devido a sua forma oferecem uma aderência maior do que as partículas arredondadas desse modo para o mesmo fator água/cimento, o concreto que as utilizam são mais resistentes do que o concreto feito com as arredondadas, pois a parte mais fraca é a ligação entre argamassa e agregados (1).

Teor de umidade. O teor de umidade de um agregado é de importância vital no controle da trabalhabilidade, resistência e qualidade do concreto (2).

A avaliação do teor de umidade do agregado é basicamente uma operação muito simples, mas é dificultada por diversos fatores. O agregado absorverá uma quantidade de água dependendo do seu tipo, e assim o conteúdo de água pode ser expresso em termos de peso do agregado quando absolutamente seco,

superfície seca e quando úmido. O conteúdo de água pode ser a quantidade de água livre, ou a que é mantida na superfície do agregado, ou o conteúdo de água total que inclui a água absorvida mais a água livre (5).

Propriedades físicas que podem ser controladas

Gradação. É bem conhecido que a gradação do agregado influencia diretamente as proporções da mistura do concreto, e que este pode ser produzido satisfatoriamente com agregado cuja gradação não esteja dentro das especificações normais.

O termo gradação refere-se à distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados obtida pela análise em peneiras padronizadas, cujo resultado pode ser facilmente compreendido e comparado por representação gráfica. Por essa razão gráficos de gradação são usados no mundo todo e formam a base dos métodos de projeto de misturas recomendados por muitos institutos de concreto (10).

Um método alternativo de representar a gradação é através do "módulo de finura", que é um fator único computado da análise de peneiras pela adição de materiais retidos em cada peneira da série normal. Este método está sujeito a críticas, em virtude de descrever a partícula média de tamanho único, podendo o mesmo módulo representar uma grande variedade de gradações. Entretanto, é bem conhecido que sua utilização em combinação com outros fatores é muito útil na determinação da proporção da mistura, e seu uso tem sido bastante difundido nas Américas, África do Sul, Austrália e outros lugares (2,10,11).

Materiais pulverulentos. Define-se como materiais pulverulentos aqueles que passam na peneira nº 200, sendo que o máximo permitido para esses materiais pela ABNT é de 1,5% (12).

Argila pode estar presente no agregado em forma de camadas em sua superfície dificultando assim sua ligação com a pasta de cimento, pois uma boa ligação é fundamental para garantir a obtenção de boa resistência e durabilidade para o concreto (2). Além disso, tendo grande superfície específica, exige demasiada quantidade de água aumentando sobremanei

ra o fator água cimento e acarretando em consequência a dimi  
nuição de resistência do concreto (1).

Impurezas orgânicas. Consiste em produtos de deterioração de  
materias vegetais, principalmente ácido titânico e seus deriva  
dos, e aparecem na forma de "húmus" ou argila orgânica. Esses  
materiais aparecem mais frequentemente nas areias do que nos  
agregados grossos, e uma quantidade suficiente pode interferir  
na cura ou endurecimento do cimento (5).

Os agregados contendo grande quantidade de  
impurezas orgânicas, mesmo que sejam bastante fortes e resis  
tentes ao desgaste não apresentarão bom desempenho quando uti  
lizados em concreto, pois as impurezas orgânicas interferem  
com a reação química de hidratação (2).

A presença eventual de matéria orgânica no  
agregado grão pode ser avaliada pelo ensaio de durabilidade  
(3).

## Concreto Fresco

### Propriedades

A resistência do concreto de deter  
minada mistura é afetada pelo seu grau de compactação; é vital, por  
tanto, que a consistência da mistura seja tal que o concreto  
possa ser transportado, colocado e apresente resistência à se  
gregação (2).

As propriedades do concreto fresco são: con  
sistência, textura, trabalhabilidade, integridade da massa (o  
posto de segregação), poder de retenção de água (oposto de ex  
sudação) e massa específica. As quatro primeiras são, muitas  
vezes, englobadas sob o termo de trabalhabilidade, medindo-se  
normalmente esta propriedade pela medida de consistência (1).

Apesar de ser a mais importante característi  
ca do concreto fresco, a trabalhabilidade é de difícil concei  
tuação, visto envolver ou englobar uma série de outras proprie  
dades, não havendo, ainda, completa concordância sobre quais  
sejam essas propriedades (1).

Termos tais como trabalhabilidade, plasticidade, mobilidade, e consistência são frequentemente usados como sinônimos para descrever as mesmas características, referentes na realidade a diferentes características do concreto. Uma primeira tentativa para se definir quantitativamente trabalhabilidade foi feita em 1947. Trabalhabilidade foi definida como a propriedade do concreto que determina a quantidade de trabalho útil necessário para produzir uma completa compactação. Essa propriedade foi relacionada a um fator de compactação que poderia ser usado como uma medida da trabalhabilidade. Cusens (2) mostrou que o fator de compactação não mede exatamente o trabalho necessário para compactação de uma mistura seca com fatores menor de 0.80.

Newman (13) considera o fator de compactação somente como uma medida da compacidade, e sugere que a trabalhabilidade é uma propriedade composta do concreto que pode ser definida em termos de três propriedades independentes: compacidade, mobilidade e estabilidade.

Em virtude da confusão a respeito da definição de trabalhabilidade e a complexidade dos fatores nela envolvidos, o Instituto Americano de Concreto em recomendações sobre proporção de mistura e consolidação (11,14) propõe a seguinte definição: Trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que determina a facilidade com que o concreto pode ser colocado, consolidado e resista à segregação. Isso significa que a trabalhabilidade engloba conceitos tais como: fluidez, moldabilidade, coesão e compacidade, que estão relacionadas à consistência, a qual é definida como a capacidade do concreto fresco fluir. Isto favorece a condição que, uma vez que os materiais e as proporções da mistura estejam selecionados, o primeiro controle realizado sobre a trabalhabilidade é feito através de alterações na consistência provocadas por variações na quantidade de água (10).

Em resumo, trabalhabilidade é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão de ser empregado com determinada finalidade, sem perda de sua homogeneidade (1).

Consistência é o grau de umidade do concreto intimamente relacionado com o grau de plasticidade da massa,

isto é, maior ou menor facilidade de deformar-se sob ação das cargas. Esta propriedade é um fator muito importante que influencia na trabalhabilidade, não podendo entretanto ser confundida com ela (1).

Os principais fatores que afetam a trabalhabilidade são:

1. Fatores internos:

- a) Consistência, que pode ser identificada pelo fator água/cimento ou teor de água/materiais secos;
- b) Proporção entre cimento e agregado, usualmente denominada traço;
- c) Proporção entre agregado miúdo e graúdo, que corresponde a granulometria do concreto;
- d) Forma dos grãos do agregado, dependendo do modo de obtenção (agregado em estado natural e obtido por britagem).
- e) Aditivos.

2. Fatores externos:

- a) Tipos de misturas (manual ou mecanizada):
- b) Tipo de transporte;
- c) Tipo de lançamento;
- d) Dimensões e armaduras da peça a executar.

A influência desses fatores não se manifesta no mesmo sentido, ainda mais considerando a influência conjunta de todos eles (1).

Atualmente existem cerca de 60 métodos desenvolvidos no mundo nos últimos 50 anos para medir a trabalhabilidade (2).

### Resistência do Concreto

A resistência do concreto é considerada comumente como sua propriedade mais importante, embora em muitos casos práticos outras características tais como durabilidade e



impermeabilidade possam ser mais relevantes. Contudo, ela dá um quadro geral da qualidade do concreto a medida que é relacionada diretamente com a estrutura da pasta de cimento endurecida (5).

Na prática de engenharia, a resistência do concreto em uma dada idade e curado a uma temperatura pré-estabelecida, depende principalmente de dois fatores: fator água/cimento e grau de compactação. O fator água/cimento determina a porosidade da pasta do cimento endurecido em um estágio qualquer de hidratação, afetando assim, junto com o grau de compactação, o volume de vazios no concreto (2).

A relação entre a resistência e o volume total de vazios não é uma propriedade única do concreto, mas é também encontrada em outros materiais frágeis em que a passagem de água provoca o aparecimento de poros. Por exemplo, a resistência da argamassa é uma função de seus vazios (15).

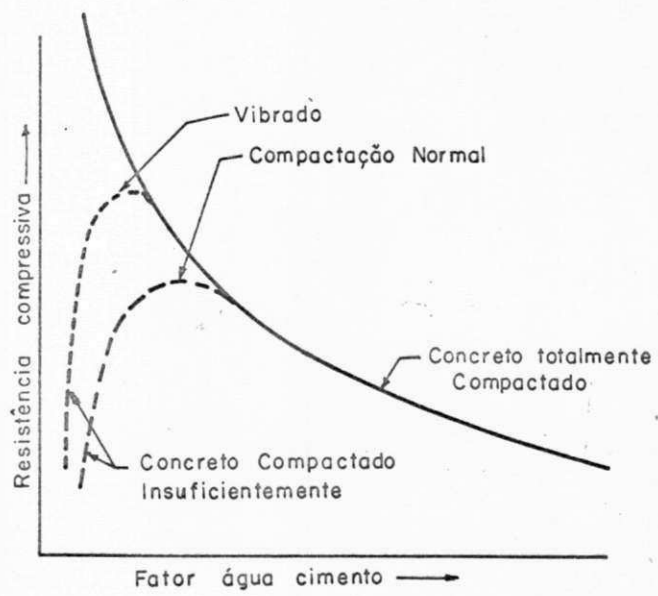
Em resumo, a resistência do concreto é provavelmente influenciada pelo volume de todos os vazios no concreto: poros capilares, poros gel, e entradas de ar quando existentes (16).

A Figura 2.2 mostra que a validade da faixa de domínio do fator água/cimento é limitada. No extremo inferior do eixo horizontal a curva é interrompida quando a compactação máxima não é mais possível de ser obtida; a posição real do ponto de partida depende dos meios da compactação a ser utilizada. Observa-se que a mistura com fator água/cimento muito baixo e uma quantidade de cimento extremamente alta exibe uma regressão na resistência, principalmente quando se utiliza o agregado mais graúdo. Assim, neste tipo de mistura um fator água/cimento muito baixo poderia não levar a uma alta resistência. Esse comportamento pode ser devido às tensões induzidas por contração, que restringidas pelas partículas do agregado provocam a rutura da pasta de cimento ou uma perda de ligação entre o agregado e o cimento (17).

A resistência de um concreto é influenciada pelos seguintes fatores:

- a) Fator água/cimento
- b) Proporção cimento/agregado (traço)





- c) Graduação, textura, forma, resistência e dureza das partículas do agregado
- d) Tamanho máximo do agregado.

O fator água/cimento é o mais importante, principalmente quando o máximo tamanho empregado vai até 40 mm (2).

Segundo Walker e Bloem (4), a resistência do concreto depende de:

- a) Da resistência da argamassa
- b) Da ligação entre a argamassa e o agregado grosso
- c) Da resistência das partículas do agregado grosso

Geralmente a água para mistura consiste da adicionada mais a mantida pelo agregado no momento em que ele vai ser lançado na misturadora. Uma parte desta última é absorvida nos poros do agregado, enquanto outra existe como água livre na superfície do agregado, e por isso não é diferente da água adicionada diretamente na mistura. Reciprocamente, quando o agregado não está saturado e seus poros estão cheios de ar, uma parte da água adicionada à mistura será absorvida pelo agregado durante os primeiros 30 minutos, ou até depois da mistura. Sob tais circunstâncias a separação entre água absorvida e água livre é um pouco difícil.

O concreto é considerado um material quebradiço, mesmo apresentando uma pequena plasticidade, pois as fraturas são provocadas por cargas estáticas à uma baixa deformação (2).

A resistência real da pasta de cimento ou de um material quebradiço similar tal como a pedra, é muito menor do que a resistência teórica calculada com base na coesão molecular, e calculada da energia de superfície de um sólido suposto perfeitamente homogêneo e sem defeitos. A resistência teórica é muito alta. Essa discrepância pode ser explicada pela presença de falhas postuladas por Griffith (18), que provocam uma alta concentração de tensão nos materiais sujeito à cargas assim como uma tensão muito alta é alcançada em volume muito pequeno de amostras com uma consequente fratura microscópica,

enquanto a tensão nominal média da amostra total é comparativamente baixa (2).

As falhas variam em tamanho, mas somente as maiores provocam danos: a resistência de uma é assim um problema de probabilidade estatística, e o tamanho da amostra afeta a tensão nominal provável na qual ocorre fracasso. O fendilhamento de uma amostra sujeita a uma compressão axial tem início sob uma carga de 50 a 75% da carga máxima. As tensões que formam as fendas dependem bastante das propriedades do agregado grosso: os seixos apresentam uma tensão de fendilhamento menor do que a das rochas britadas angulares, provavelmente devido à ligação mecânica ser influenciada pelas propriedades de superfície e, até um certo grau pela forma do agregado grosso (19).

A influência do tipo de agregado grosso na resistência do concreto varia em magnitude e depende do fator água/cimento da mistura. A proporção cimento/agregado afeta a resistência de todos os concretos de média e alta resistência. Não há dúvida alguma que a proporção cimento/agregado é um fator secundário na resistência do concreto, mas tem sido observado que para um fator água/cimento constante uma mistura mais magra provoca uma resistência mais alta (20). Esse comportamento é associado provavelmente à absorção de água pelo agregado: uma maior quantidade de agregado absorve uma maior quantidade de água, sendo assim o fator água/cimento efetivo reduzido. Provavelmente outros fatores podem influenciar: por exemplo, a quantidade total de água por metro cúbico de concreto é menor em uma mistura mais magra do que em uma mistura mais rica. Em uma mistura magra, os vazios formam uma pequena fração do volume total do concreto, e são esses vazios que têm um efeito adverso na resistência (2).

#### Lateritas: definições e classificação

O termo laterita foi proposto por Buchanan para caracterizar um material natural, que tinha a propriedade de endurecer quando exposto ao ar. Este material existente no sul da Índia, podia ser talhado em blocos, em forma de tijolos que deu origem à palavra laterita (do latim "later", tijolo) e

não ao ferro existente em camadas e veios destacados (21).

A partir de então, o termo laterita passou a assumir significados diferentes e por vezes conflitantes. Várias definições têm sido propostas, não existindo no entanto uma definição precisa e universalmente aceita de laterita (21).

Melo e outros (22) indicam que no Brasil há tendência de se adotar os conceitos propostos por Novais Ferreira (21), que são baseados nas definições dadas por Du Prez e Pendleton (21), e pelo Laboratório de Engenharia Portuguesa. Todavia, as especificações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) (23), definem os solos vermelhos produzidos por laterização da seguinte maneira: "Solo laterítico é o solo cuja a fração coloidal (abaixo de 2 microns) apresenta uma relação sílica/sesquióxidos menor que 2 e, apresenta em conjunto as seguintes características: presença apreciável de sesquióxidos de ferro, tendência para o concrecionamento e endurecimento quando exposto ao sol, baixa expansibilidade e baixo teor de matéria orgânica".

As dificuldades em aceitar uma classificação de solo laterítico, devido a sua grande variedade, tem se refletido nos estudos de engenharia.

A classificação que no momento é de maior utilidade na engenharia civil foi apresentada pela United States Agency for International Development (USAID) (24) em seus estudos sobre solos lateríticos da África. Esta classificação está baseada em uma correlação estatística entre a classificação simplificada de D'Hoore (24), e as propriedades de engenharia dos solos lateríticos obtidos pela USAID. Aquele autor divide os solos tropicais vermelhos em três grupos principais, que por sua vez podem apresentar sub-grupos (25), são eles:

Solos ferruginosos. - Solos tropicais laterizados que ocorrem em regiões áridas, em áreas com pronunciada estação seca. Formam-se sobre todo tipo de rocha, sendo comum encontrar couraças ferruginosas nas regiões onde ocorrem estes solos, sendo estas duras e duráveis. Estes solos exibem baixos limites de Atterberg, altos valores de densidade e CBR. Não ocorrem os argilo-minerais haloisita e alofano e a gibsita também não ocor



re ou é pouco comum nestes solos.

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

Ferrisolos. Ocorrem sobre qualquer tipo de rocha em áreas de média a alta precipitação pluviométrica, onde a erosão tem ocorrido simultaneamente ao desenvolvimento do perfil. A caulinita é o argilo-mineral predominante, todavia a goetita pode ocorrer. Os materiais argilosos possuem alto grau de hidratação, daí a similaridade com os solos ferralíticos. Estes solos apresentam uma plasticidade mais alta e valores de densidade e CBR mais baixos do que os solos ferruginosos.

#### Alguns Estudos Sobre o Concreto Laterítico

Até o momento se tem pouco conhecimento sobre pesquisas realizadas com o uso do agregado laterítico como material para concreto.

No Brasil, o trabalho realizado pelos engenheiros Gomes e Pinto cujo objetivo principal foi encontrar a influência do tempo de lavagem do agregado na resistência final do concreto. Utilizando tempos de lavagem de 0, 3, 9 e 30 minutos, chegaram as seguintes conclusões:

1. A influência do tempo de lavagem, diminui o fator água/cimento intensamente nos primeiros 3 minutos, daí lentamente até os 30 minutos de lavagem. Essa diminuição é

## CAPÍTULO IV

### MATERIAIS

#### Solos

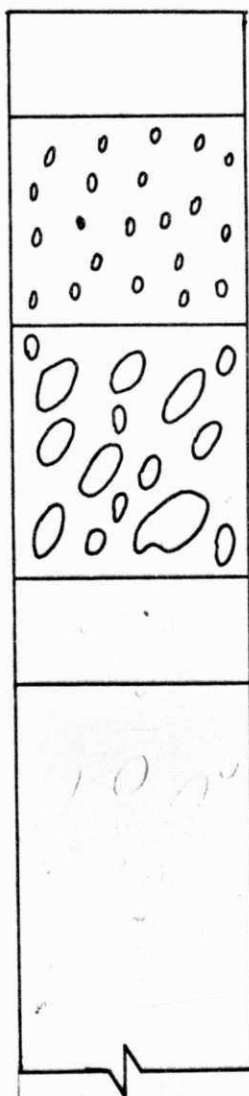
Para a realização deste trabalho foi selecionada uma ocorrência de materiais lateríticos no Estado da Paraíba, conhecida como jazida Sapê-Mari localizada na zona fisiológica do litoral, e ocorre como capeamento da formação geológica denominada Barreiras. Esta formação é uma sequência de camadas de areias e argilas arenosas, formada provavelmente no período terciário superior.

As precipitações no local da jazida geralmente ocorre entre os meses de março e julho, tendo sido registrada, para um período de 10 anos, uma precipitação média de 1173 mm (27).

A Figura 4.1 mostra esquematicamente o perfil da jazida no local de onde foi retirada a amostra. Consiste de uma camada superior formada por duras concreções ferruginosas, rica em pequenos seixos arredondados de laterita endurecida, apoiada em uma camada de argila rija tornando-se mais mole a medida que vai se aprofundando.

A presença dos seixos arredondados na camada superior desta ocorrência, indica que a mesma foi formada por uma acumulação de materiais provindos de níveis mais elevados, possivelmente de uma couraça laterizada que se desagregou e cimentação de um depósito coluvionar. A confirmação do acima exposto é devido a existência de um material muito fino (podsol), que não tem relação com o solo laterítico existente abaixo, isto é fortalecido pelo fato de que existe uma ocorrência laterítica, apresentando couraças, possivelmente mais antigas, a 90 Km da ocorrência Sapê-Mari. Deste modo a jazida Sapê-Mari parece ter sido formada pelo intemperismo de uma laterita mais antiga (28).

#### Localização e Coleta das Amostras



Solo muito fino (podsol)  
espessura máxima de 40 cm aproximadamente.

Pequenas concreções lateríticas-pisólitos  
espessura entre 60 e 80 cm.

Argila vermelha rija com concreções lateríticas duras. espessura máxima de 1,00 m.

Argila vermelha mais solta  
espessura entre 20 e 40 cm.

10 m  
Argila arenosa. Espessura desconhecida, com  
aproximadamente 20 cm descoberto.

A jazida Sapê-Mari está localizada à margem direita da rodovia PB-55, a 8 Km da cidade de Mari, no trecho entre Mari e Guarabira, (Veja Figura 4.2). A amostra foi coletada próximo à superfície do terreno, a uma profundidade de 40 cm. (Ver Figura 4.3).

As amostras foram coletadas por meio manual com uso de pás e picaretas. Após a coleta o material foi acondicionado em sacos de lona e transportado para o laboratório.

A Tabela 4.1 apresenta a composição química do material com diâmetro mínimo de 9,5mm (28).

### Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi Portland comum-320 da Companhia Paraibana de Cimento Portland (CIMEPAR), localizada na cidade de João Pessoa, Paraíba (29).

O cimento usado era comprovadamente novo, a fim de que suas propriedades originais não estivessem alteradas, sendo tomados cuidados especiais com o mesmo de modo que fosse evitado, o máximo possível, sua hidratação pelo contacto com a umidade do ar. As propriedades do cimento estão mostradas na Tabela 4.2 (30).

### Areia

Utilizou-se como agregado miúdo areia do rio Paraíba, também coletada por meio manual e transportada em sacos para o laboratório, onde foi seca em estufa a uma temperatura de 105 a 110°C, até peso constante, a fim de se evitar quando da realização da mistura a correção do fator água/cimento.

A fim de se obter o agregado miúdo com diâmetro máximo de 4,8 mm, peneirou-se a areia em peneira com essa dimensão.

A composição granulométrica do agregado miúdo foi determinada de acordo com a ABNT:MB-7 (12), apresentando-se praticamente dentro dos limites especificados pela ABNT:EB-4. De acordo com seu módulo de finura podemos classificá-lo como "areia média". (Veja Apêndice A).

Figura 4.2 Mapa do Estado da Paraíba, mostrando a Rodovia PB-55, Sapê-Guarabira, onde foi coletada a a mostra.

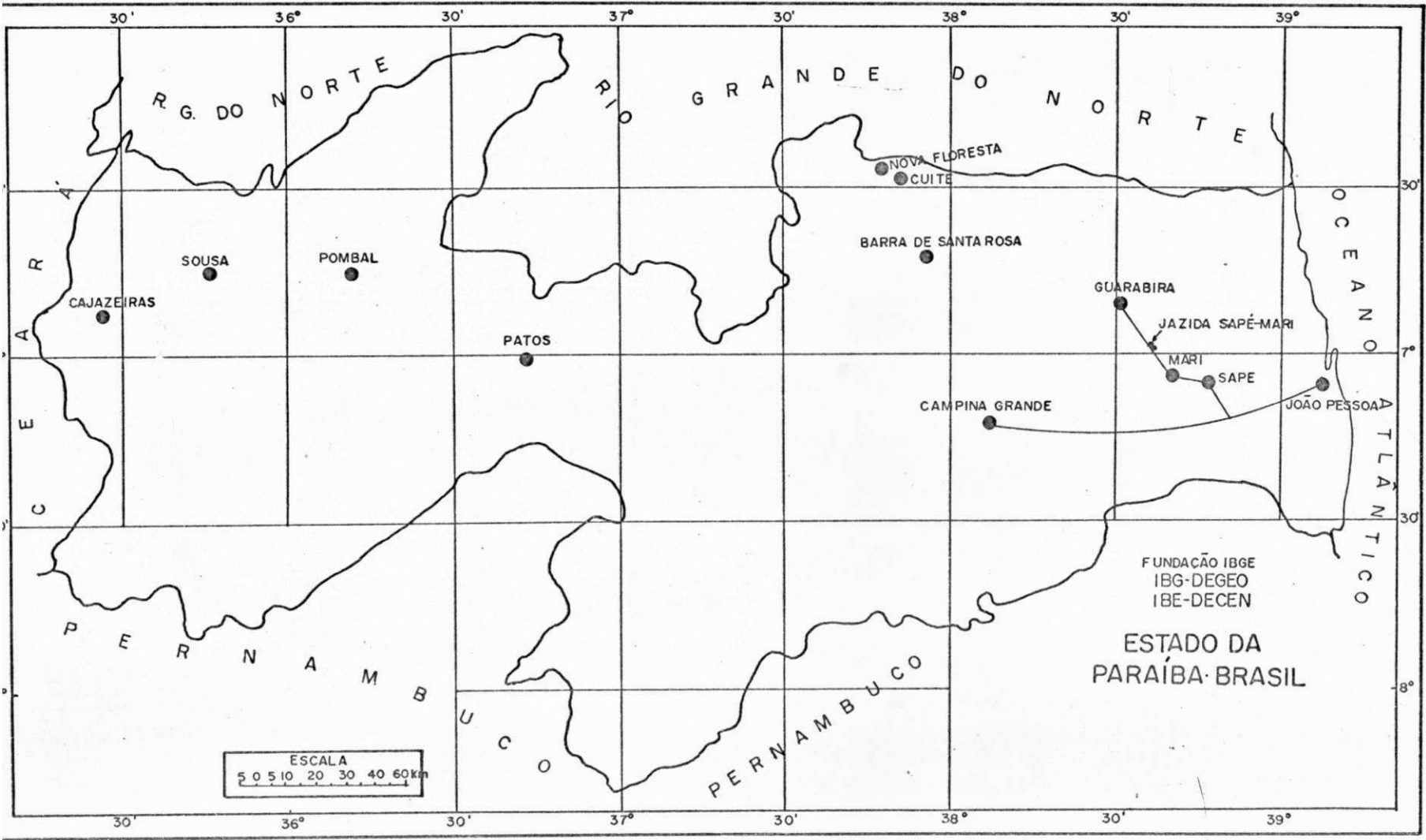
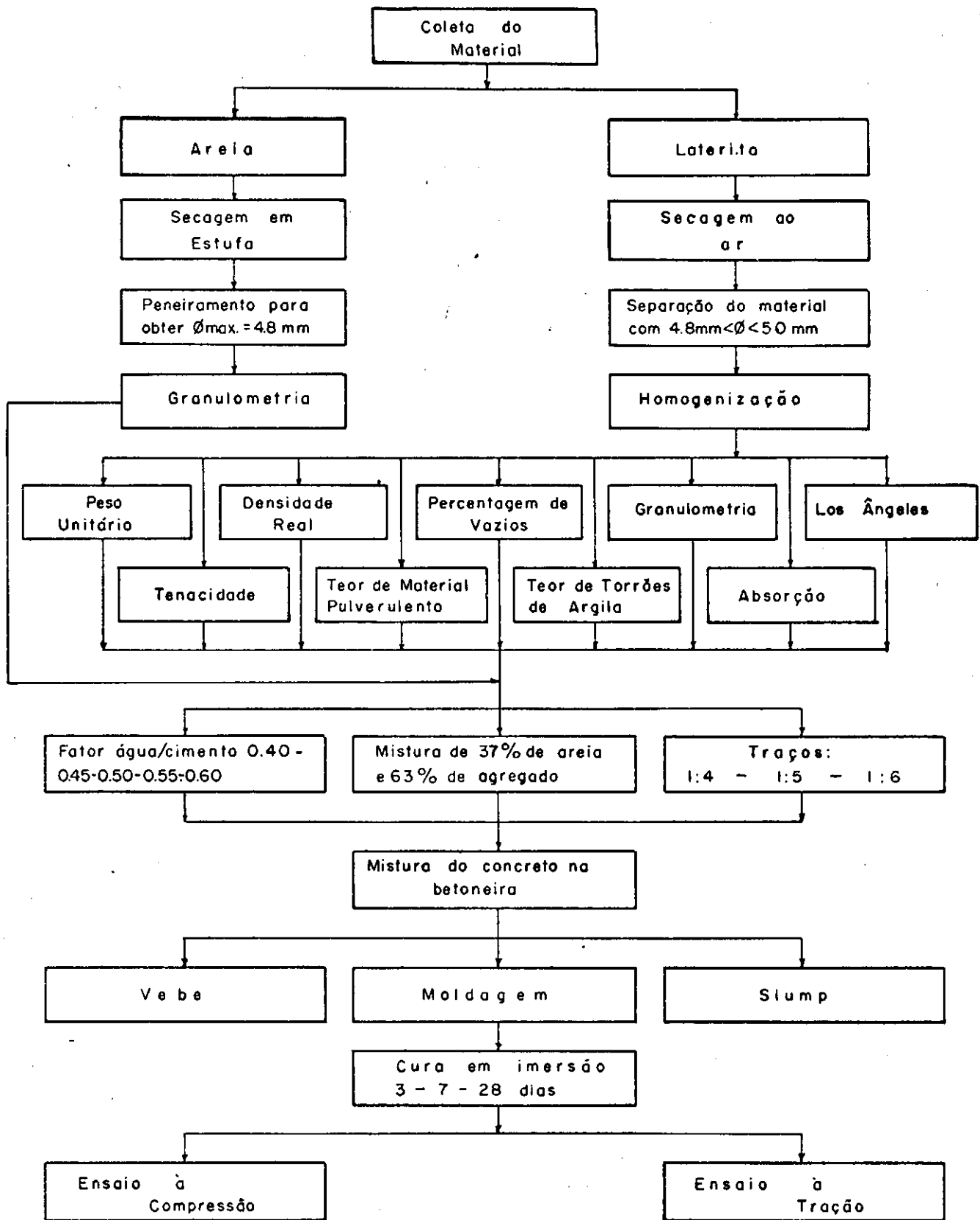


Figura 4.3 · Detalhe mostrando as concreções lateríticas uti  
lizadas nas pesquisas





UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso, 832 - Tel. (083) 321 3333 - 255  
AS 100 - Camp. III - 511



Óxidos	Valores
Silica (SiO <sub>2</sub> )	25,80
Hematita (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	31,00
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	21,00
Relação Silica/sesqui óxido $\frac{\text{SiO}_2}{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$	1,08

TABELA 4.1 Composição química do agregado graúdo utilizado (28)



DENOMINAÇÃO	ZEBU-320
Análise química %:	
Perda ao fogo	1,40
Resíduo insolúvel	0,35
Silica (em SiO <sub>2</sub> )	18,69
Óxido fêrrico (em Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,20
Óxido de alumínio (em Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6,14
Óxido de cálcio total (em CaO)	62,50
Óxido de Magnésio (em MgO)	3,61
Anidrido sulfúrico (em SO <sub>3</sub> )	2,55
Óxido e hidróxido de cálcio livre (em CaO)	1,25
Óxido de sódio (em Na <sub>2</sub> O)	0,09
Óxido de Potássio (em K <sub>2</sub> O)	0,77
Óxido de sódio solúvel em água (em Na <sub>2</sub> O)	0,09
Óxido de potássio, solúvel em água (em K <sub>2</sub> O)	0,75

TABELA 4.2 Propriedades químicas do cimento utilizado (30).

## CAPÍTULO V

### MÉTODOS DE ENSAIOS

#### Introdução

Após a chegada dos materiais (areia e laterita) ao laboratório foram preparados e submetidos a uma série de ensaios como indicado no fluxograma da Figura 5.1a.

A laterita, foi peneirada na peneira de abertura 4,8 mm, não sem antes passar na peneira de malha com abertura de 50 mm, afim de se obter um agregado com diametro entre 4,8 e 50 mm.

O agregado graúdo assim preparado e homogeneizado foi utilizado para a realização dos seguintes ensaios: peso unitário, densidade real, absorção, percentagens de vazios, determinação da abrasão de Los Angeles, tenacidade, determinação do teor de materiais pulverulentos, determinação do teor de argila em torrões no agregado, granulometria.

A mistura em proporções adequadas de areia e agregado graúdo foi adaptada à curva teórica de Fuller para que a mesma cumpra as condições de compacidade. (Ver Figura 5.1b).

Com os módulos de finura do agregado e da areia, e com o módulo de finura correspondente à parábola de Fuller, determinou-se as percentagens em peso conveniente para misturar a areia e o agregado graúdo.

Logo após a mistura na betoneira foram realizados no concreto os ensaios de abatimento (Slump) e Vebe teste.

Os corpos de provas de concreto, foram desmoldados 24 horas depois da confecção dos mesmos e colocados em imersão até a data prevista para seus rompimentos.

#### Peso Unitário

O peso unitário dos agregados para concreto em estado solto foi determinado seguindo as recomendações da

Figura 5.1a Fluxograma de preparação e ensaios realizados com o solo no laboratório



Figura 5.1b Adaptação das curvas dos agregados miúdo e graúdo a curva de Fuller

ABNT: PMB-214. (12).

Foram realizados dois ensaios, tirada a média desses valores quando se encontravam dentro das variações especificadas pelo método (31).

#### Densidade Real

Procedeu-se de acordo com as recomendações especificadas pelo método de ensaio do DNER DPT M-81-64 (31).

Foram realizados dois ensaios, aceitando-se como verdadeiras quando se encontravam dentro das variações que o método especifica (31).

#### Desgaste

É uma das exigências novas entre nós, mas há muito exigida em outros países, sendo que o valor máximo permitido (50%) é o mesmo em quase todas as especificações.

Para o ensaio foi adotada a graduação A, pois esta era a que mais se aproximava da graduação utilizada.

Sua determinação foi feita pelo método da ABNT:MB-170 (12). (Ver Figura 5.2).

#### Tenacidade

O Valor de impacto do agregado da uma medida relativa da resistência de um agregado ao choque súbito ou impacto, que em alguns agregados difere de sua resistência a uma carga compressiva lenta: (Ver Figura 5.3).

A determinação do valor de impacto foi realizado de acordo com a BS:812:1967. (32).

#### Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos

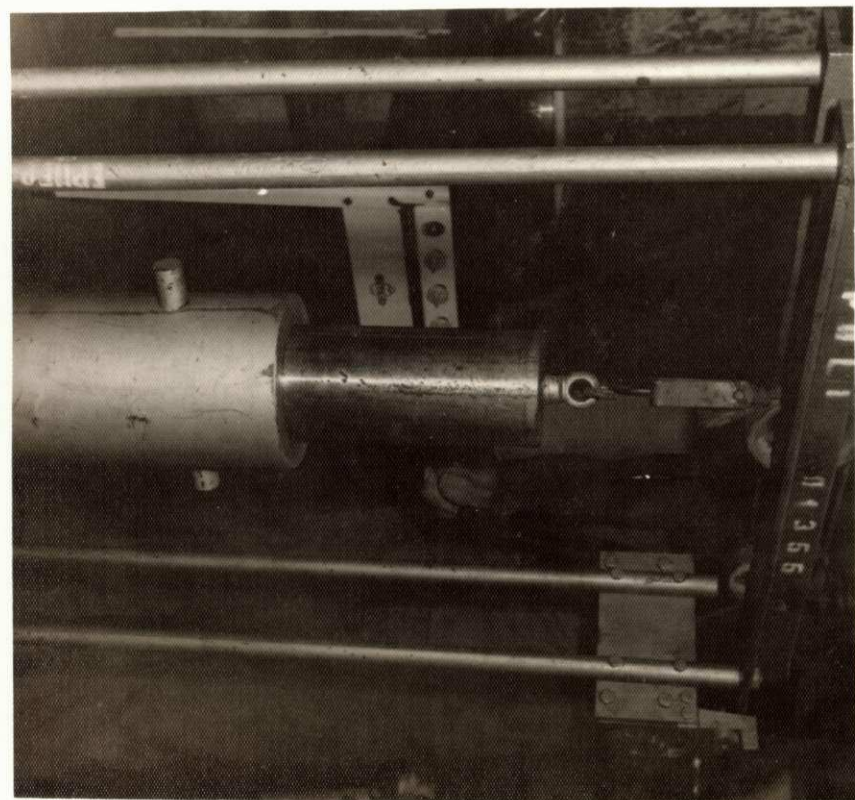
Procedeu-se de acordo com as recomendações do ensaio da ABNT:MB-9 (12).

Figura 5.2 Aparelho Los-Ãngeles

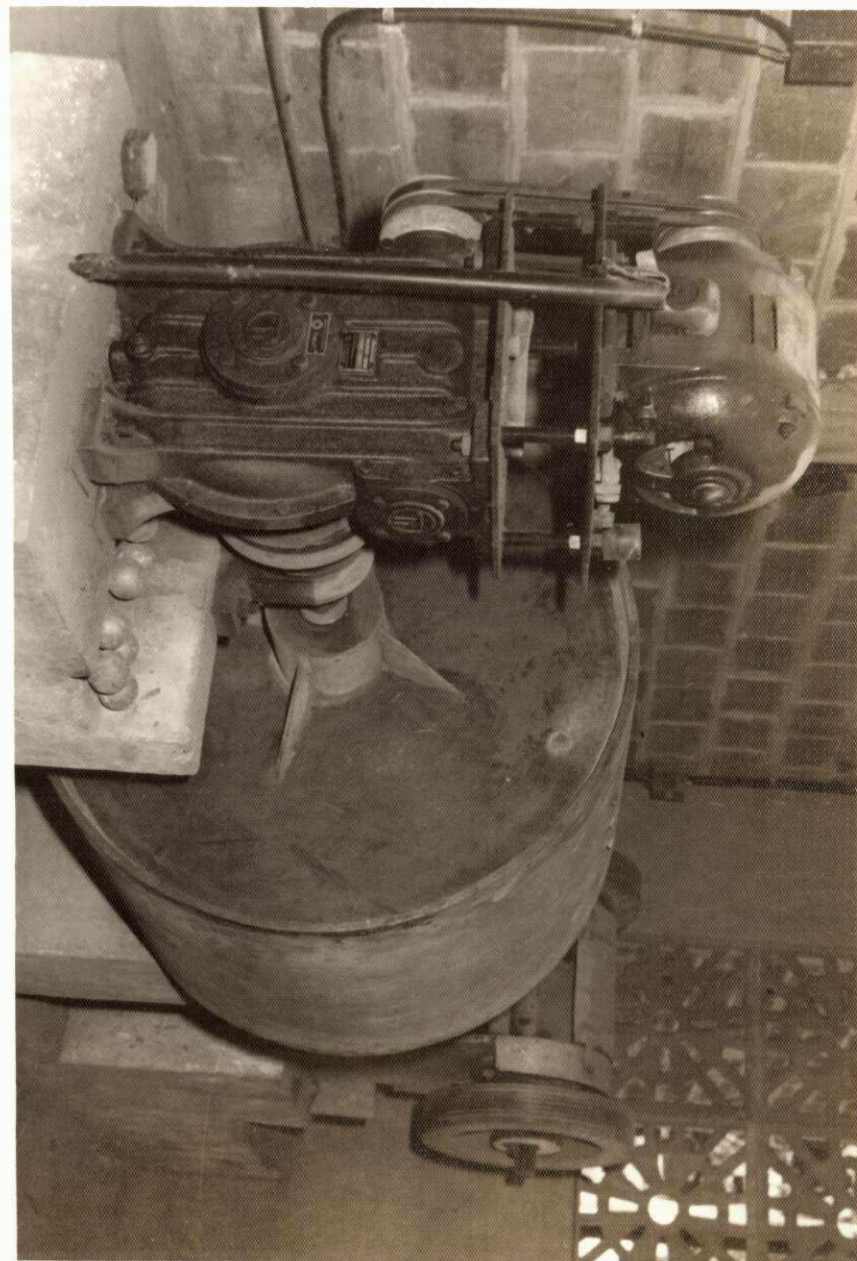
Figura 5.3 Detalhes da ExecuÃo de um Ensaio de Tenacidade







UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso, 832 - Tel (083) 321 7222-R 355  
58.100 - Campina Grande - Paraíba



## Determinação do Teor de Argila em Torrões no Agregado

Este ensaio procedeu-se de acordo com as normas da ABNT:MB-8. (12).

### Absorção

Para a realização deste ensaio procedeu-se de acordo com o que é recomendado pela BS:812-1967. (32).

### Percentagem de Vazios

Sua determinação foi feita de acordo com a BS:812-1967. (32).

## Granulometria do Agregado Graúdo e Miúdo

Procedeu-se a determinação da composição granulométrica do agregado graúdo e miúdo de acordo com a ABNT:MB-7. (12).

### Mistura

Afim de se estudar os efeitos da proporção cimento/agregado sobre as propriedades do concreto, foram selecionados três diferentes proporções de 1:4, 1:5, 1:6. A escolha destes traços foi devido aos mesmos serem os mais utilizados em obras de construção civil. Os fatores água/cimento foram baseados em um estudo preliminar de ensaio de mistura, e aqueles que apresentaram-se mais satisfatórios encontravam-se na faixa de 0.40 a 0.60.

A proporção que melhor se encontrou para a relação agregado miúdo e agregado graúdo foi 37% de areia e 63% de agregado graúdo (Ver Apêndice B).

Para cada traço e para o mesmo fator água/cimento, foram moldados uma série de corpos de provas para serem rompidos nas idades de 3,7 e 28 dias, para a compressão e a tração. (Ver Apêndice C).



## Moldagem e Cura de Corpos de Prova Cilíndricos de Concreto

Procedeu-se de acordo com a norma da ABNT: MB-2. (12).

### Teste de Abatimento (SLUMP)

A medida da trabalhabilidade é feita pelo a batimento (deformação) causada na massa de concreto pelo seu peso próprio. (1).

A Figura 5.4 mostra o aparelho para realiza ção deste ensaio.

Sua determinação foi realizada de acordo com ABNT:MB-256. (12).

### Vebe Teste

Este aparelho é constituído de um cone de SLUMP, colocado dentro de um cilindro de dimensões conhecidas fixado sobre uma mesa vibratória. (Ver Figura 5.5).

A massa de concreto é moldada em 3 camadas adensadas por 25 golpes dados com uma barra de 2 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento com ponta arredondada.

O Vebe é dado pelo tempo em segundos para passar o concreto da forma tronco-cônica a cilíndrica.

O teste foi realizado de acordo com a BS: 1881-1970 (32).

### Ensaio de Compressão

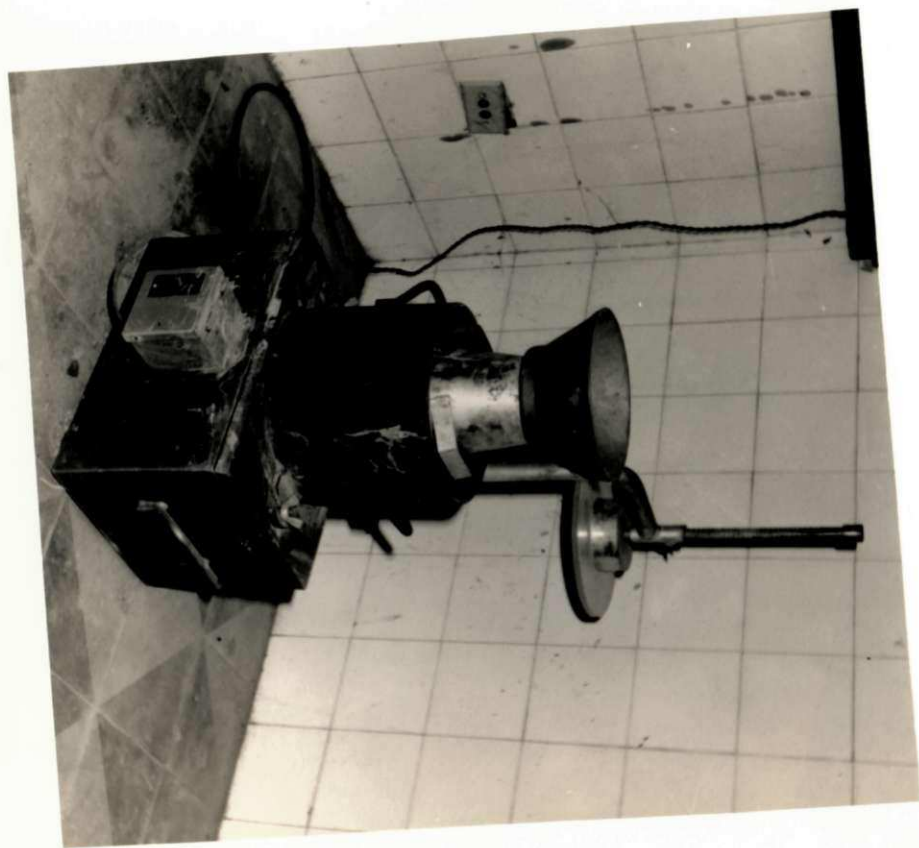
A Figura 5.6 mostra o corpo de prova antes da realização deste ensaio.

A Figura 5.7 mostra um corpo de prova de concreto, logo após a rutura.

Em todos os casos ensaiou-se um mínimo de 6 corpos de prova, para obter-se o valor médio da resistência a compressão.

Figura 5.4 Aparelho de Slump para medida de trabalhabilidade

Figura 5.5 Aparelho Vebe para medida de trabalhabilidade

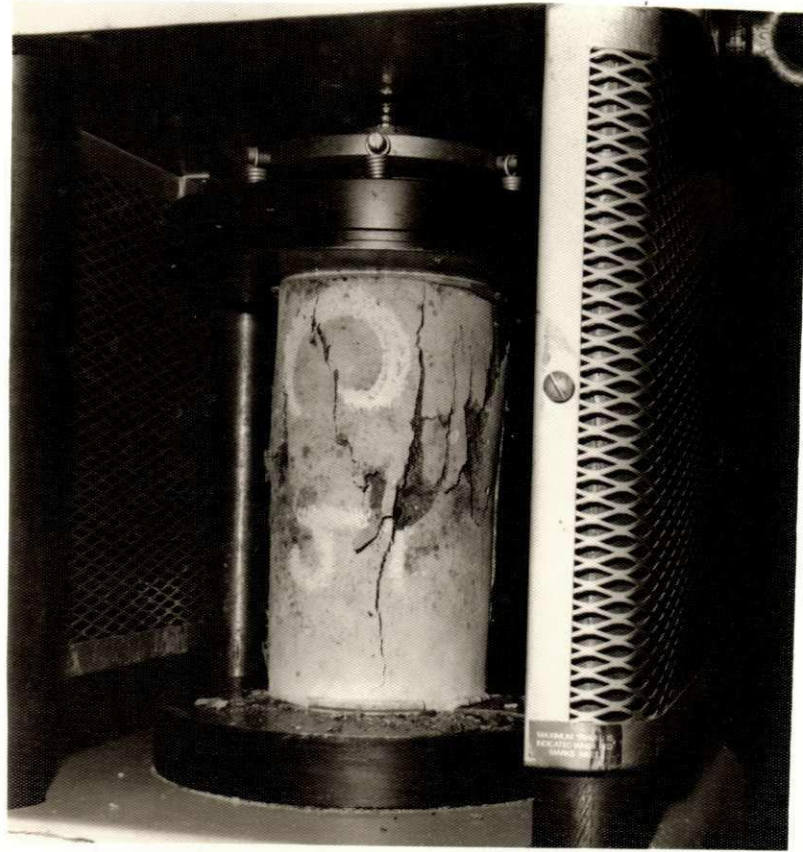
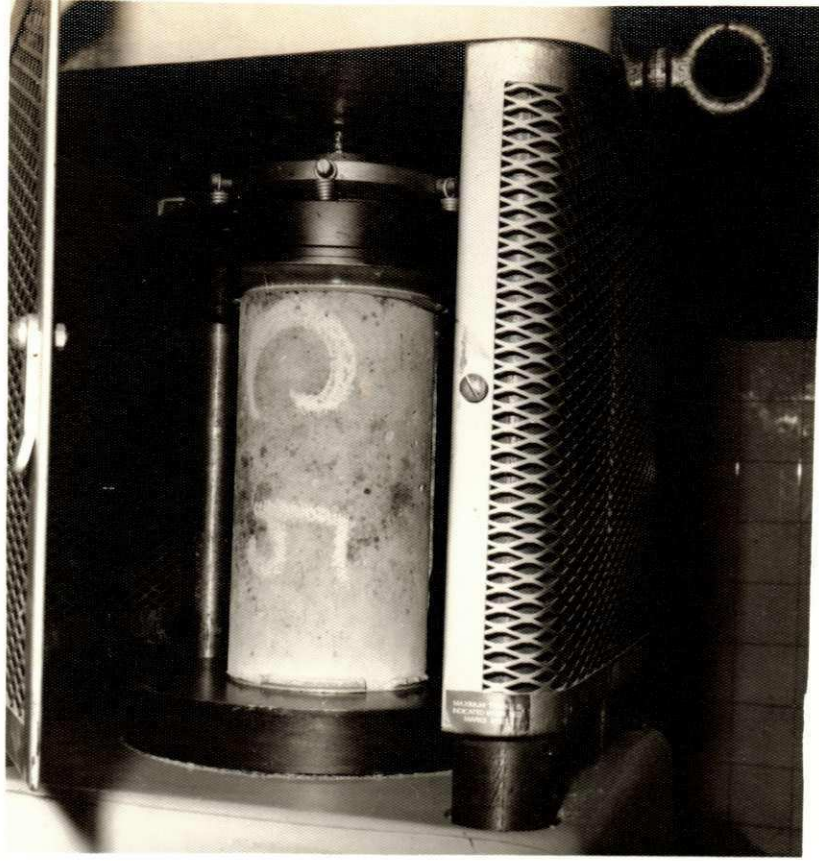


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321-7222-R 355  
58.100 - Campina Grande - Paraíba

Figura 5.6 Detalhe do corpo de prova na prensa antes da realização do ensaio à compressão

Figura 5.7 Detalhe de um corpo de prova rompido à compressão





UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso 882, Tel. (083) 321 7224-4355  
58.000 - Campina Grande - Paraíba

A realização deste ensaio procedeu-se de a cordo com ABNT-MB-3 (12).

Resistência à Tração Simples de Concreto por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos.

Este método foi sugerido, por Fernando Carneiro e é conhecido como Método Brasileiro. Neste teste um cilindro de concreto do tipo usado para compressão, é colocado com seu eixo em nível horizontal entre os pratos da máquina sendo a carga aplicada a uma velocidade constante até que se dê a rutura, por brusca separação das duas metades do corpo de prova, segundo o plano diametral.

As Figuras 5.8 e 5.9 mostram os detalhes da execução do ensaio e de um corpo de prova logo após a rutura.

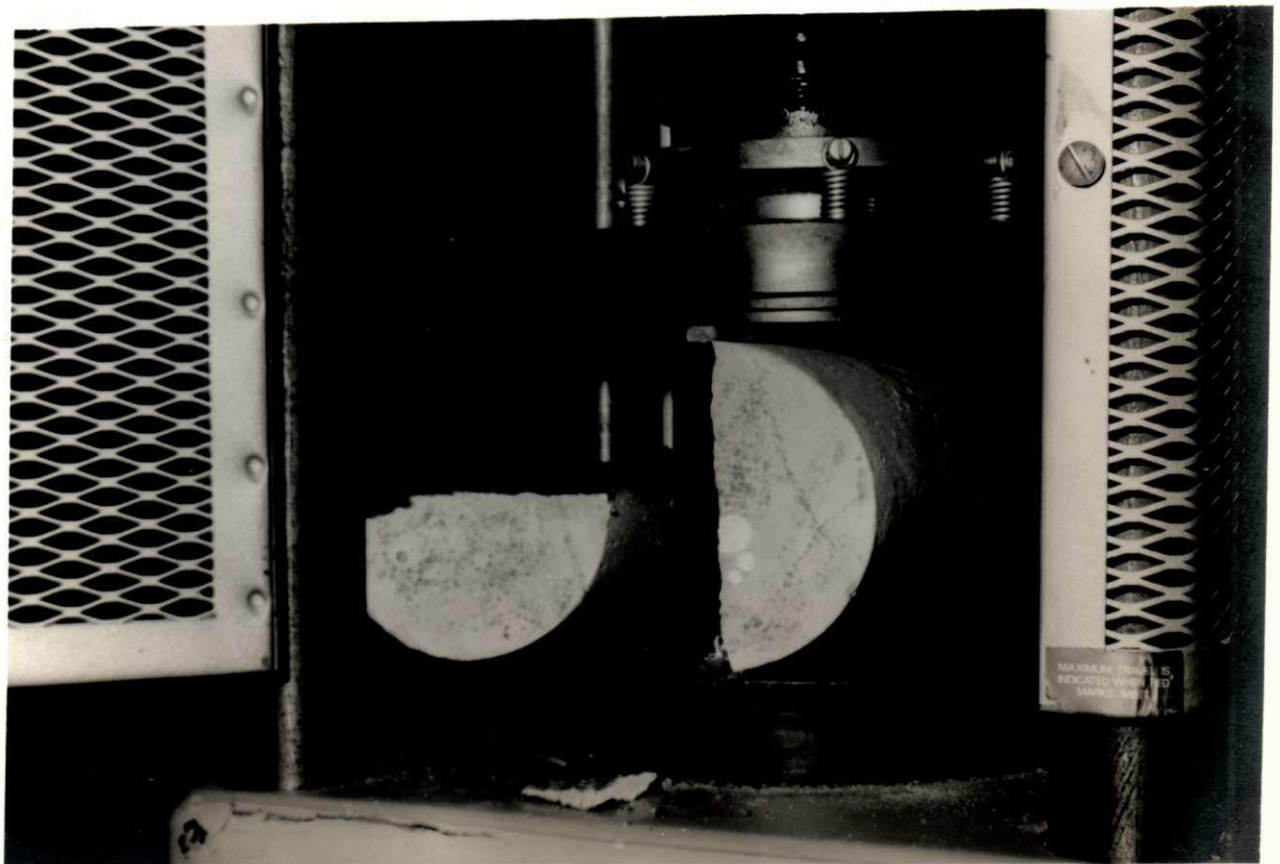
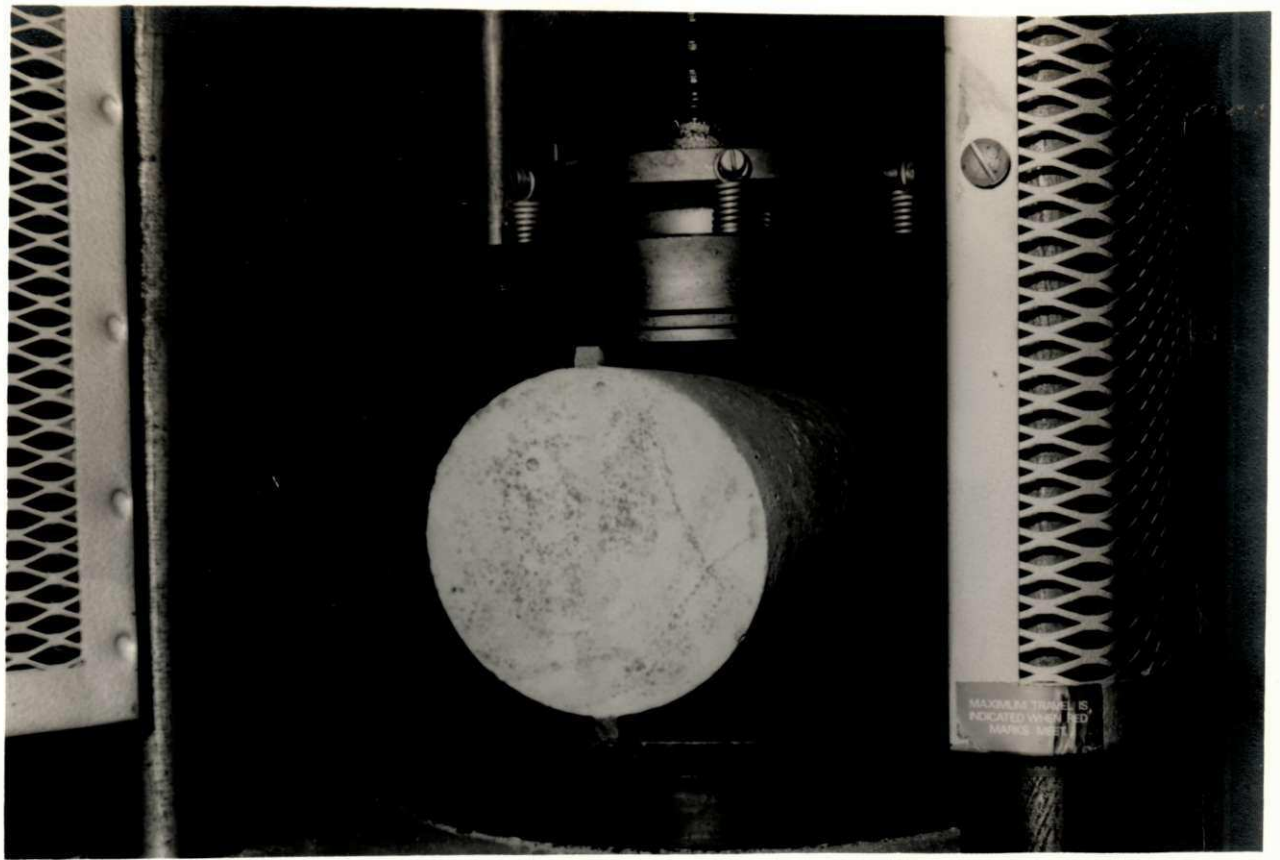
Também foram rompidos 6 corpos de prova a fim de se determinar o valor médio da resistência à tração correspondente ao mesmo fator água/cimento e respectivas idades para rutura.

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT: MB-212 (12).



Figura 5.8 Detalhe do corpo de prova na prensa antes da realização do ensaio à tração

Figura 5.9 Detalhe do corpo de prova rompido à tração



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



## CAPÍTULO VI

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de laboratório, bem como uma análise qualitativa dos aspectos mais relevantes desses resultados, dando ênfase aos seguintes itens:

1. Propriedades físicas do agregado laterítico, comparando-as com as do agregado normalmente utilizado para concreto.
2. Trabalhabilidade.
3. Resistência à compressão e à tração.
4. Relação entre os valores de resistência à compressão e à tração para o concreto submetido a diferentes tempos de cura.

#### Propriedades Físicas do Agregado

Os valores encontrados para composição granulométrica do agregado permitem concluir que o mesmo está dentro dos limites especificados pela ABNT:EB-4 (12) para um agregado com a graduação variando de 50 a 4,8 mm. (Veja Apêndice A).

Os valores de densidade, percentagens de vazios e peso unitário dos agregados lateríticos são comparáveis aos apresentados pelo granito britado e seixo rolado, enquanto sua absorção assemelha-se à apresentada pelos agregados leves. (Veja Tabela 6.1).

A percentagem de perda de material no ensaio de desgaste Los Angeles é inferior ao máximo permitido pela ABNT (12), o mesmo ocorrendo para a resistência do agregado ao impacto, estando incluído, portanto, entre os bons materiais

para concreto. (Veja Tabela 6.1).

Os valores de teor de materiais pulverulentos e torrões de argila encontram-se completamente fora dos limites especificados pela ABNT que recomenda um máximo de 0,25% de teor de torrões de argila, e 1,5% de material pulverulento, correspondente ao encontrado no seixo rolado. As altas porcentagens encontradas no agregado laterítico das "substâncias nocivas" acima citadas, prejudicam de modo acentuado a resistência do concreto. (Veja Tabela 6.1).

### Trabalhabilidade

A relação entre os resultados obtidos no ensaio de Slump para os três traços utilizados na pesquisa com a variação do fator água/cimento é apresentado na Figura 6.1a. Observa-se que para um mesmo fator água/cimento o Slump diminui com o aumento do traço, enquanto que para o mesmo traço, ocorre o aumento do slump com o acréscimo do fator água/cimento, concordando com a variação apresentada pela trabalhabilidade da mistura de concreto que utiliza o agregado normal.

Na Figura 6.1b é apresentada a relação entre os resultados obtidos no Vebe Test e o fator água/cimento, para as três proporções água/cimento utilizadas neste trabalho. Observa-se que para o mesmo fator água/cimento o valor do Vebe aumenta com o emagrecimento do traço, do mesmo modo quando se utiliza agregado normal para o concreto.

### Resistência à Compressão

Os gráficos das Figuras 6.2a, 6.2b e 6.2c mostram a variação da resistência à compressão com o fator água/cimento para os diferentes traços utilizados, sendo que cada resultado representa a média de 6 corpos de prova ensaiados. (Veja Apêndice C). Pode-se observar que a resistência do concreto à compressão diminui com o aumento do fator água/cimento para todos os traços, exceto para o traço 1:5 que apresenta menor resistência à compressão para o fator água/cimento de 0.40. Isto possivelmente ocorre devido a absorção de água pelo agregado, o que faz com que a mistura se torne menos tra



Propriedades	
Densidade aparente	2,52
Peso unitário	1,50Kg/dm <sup>3</sup>
Percentagem vazios	40,71
Absorção	7.201 %
Los-Ângeles	49,00 %
Tenacidade	7,22 - 13,65 %
Teor mat. Puerulento	2,8 %
Torrões argilas	1,33 %
Resistência à compressão (seção transversal)	49,56 - 101,48Kg/cm <sup>2</sup>

Tabela 6.1 Propriedades físicas do agregado utilizado

Figura 6.1a Relação entre Slump e fator água/cimento



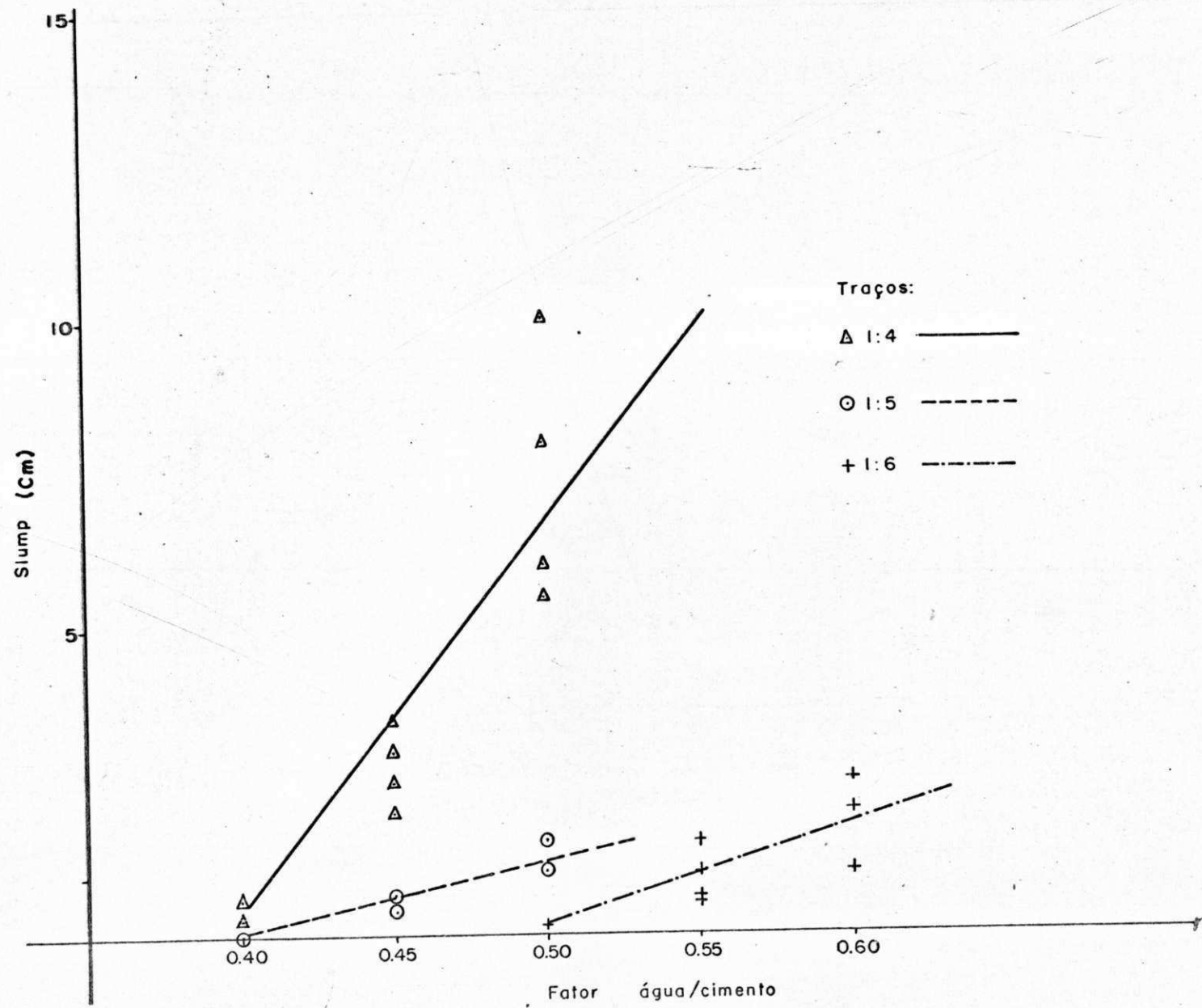


Figura 6.1b Relação entre Vebe e fator água/cimento

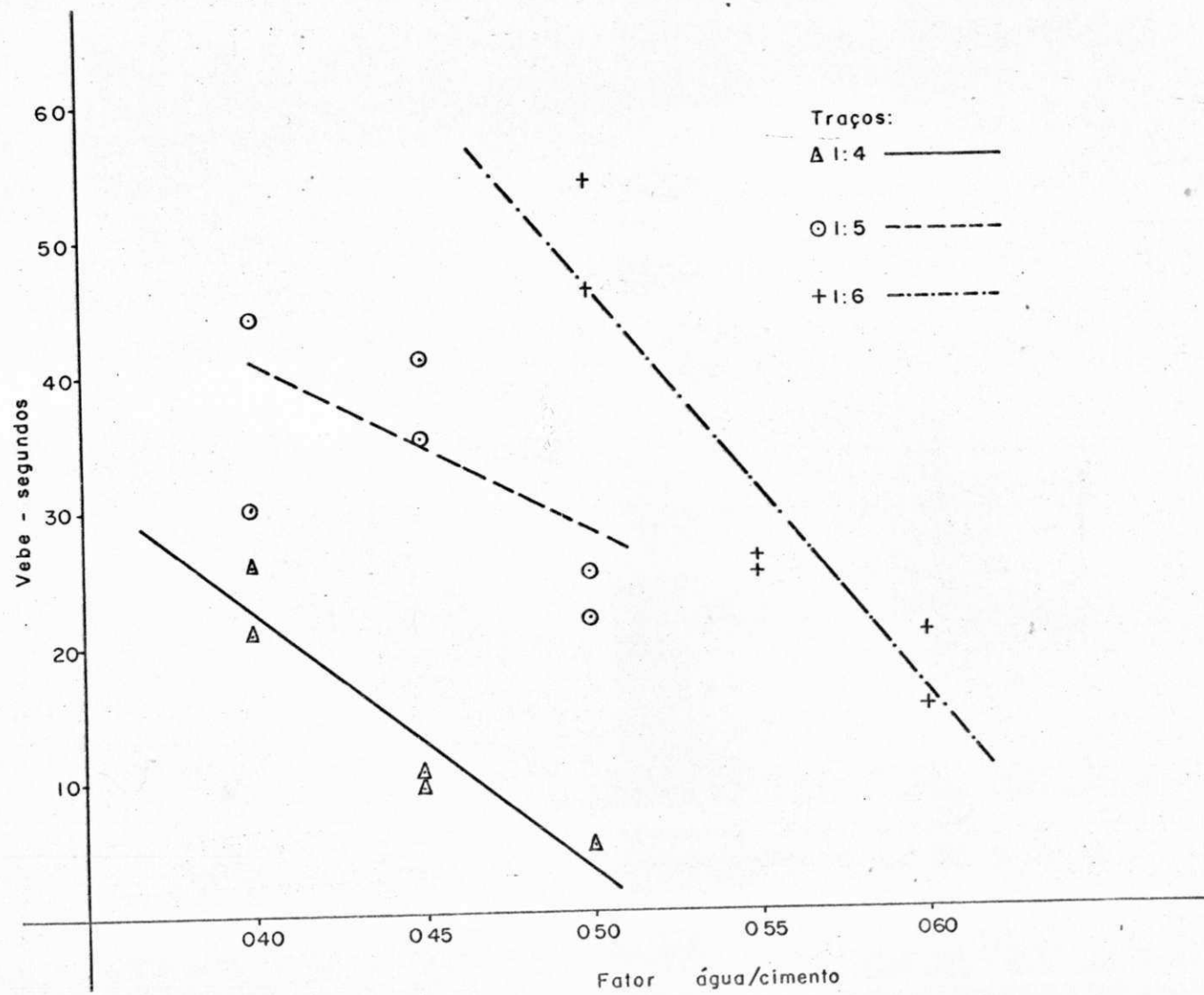


Figura 6.2a Variação da resistência à compressão com o fator  
água/cimento para o tempo de cura de 3 dias

DEPA / BIBLIOTECA / DPAII

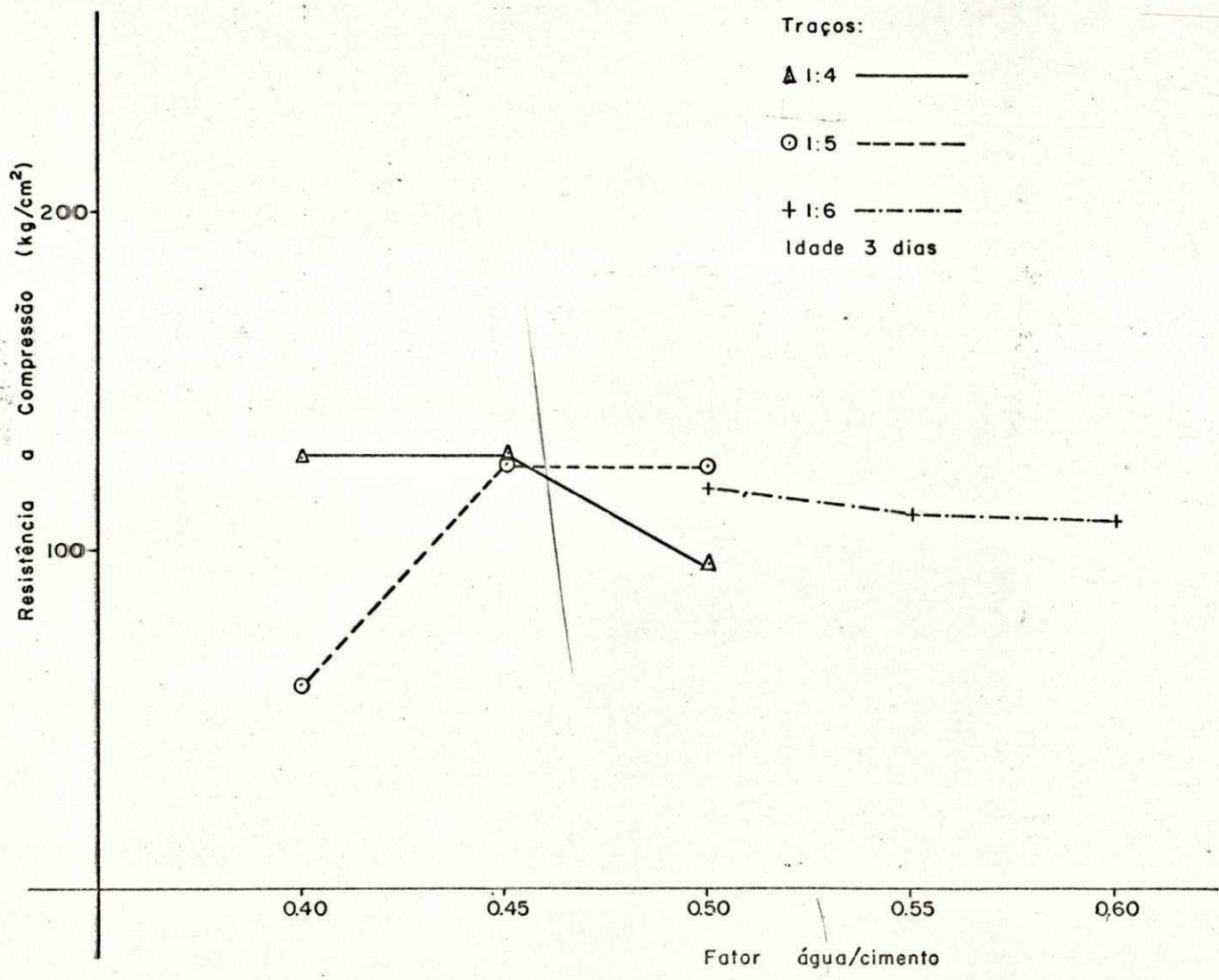


Figura 6.2b Variação de resistência à compressão com o fator  
água/cimento para o tempo de cura de 7 dias



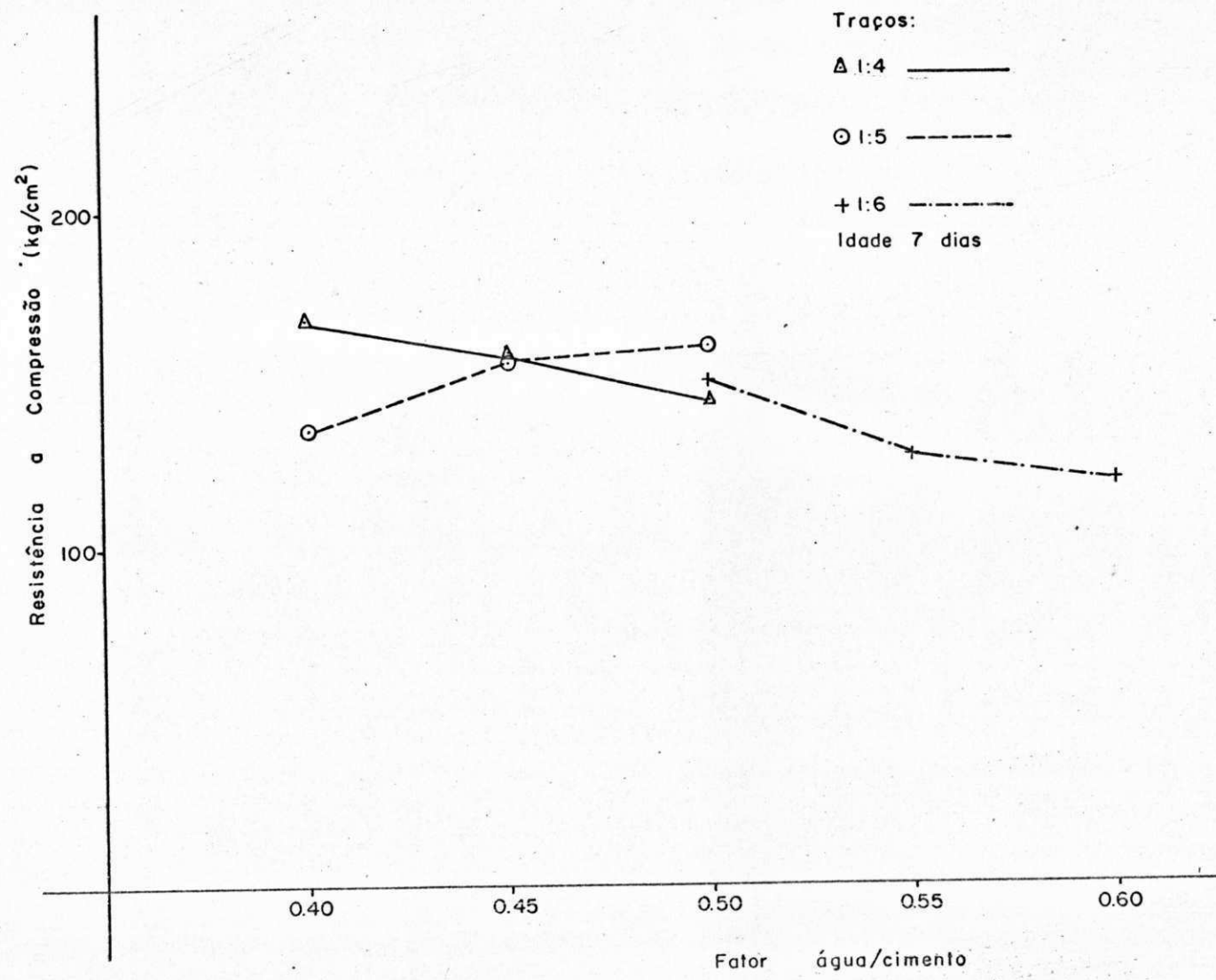
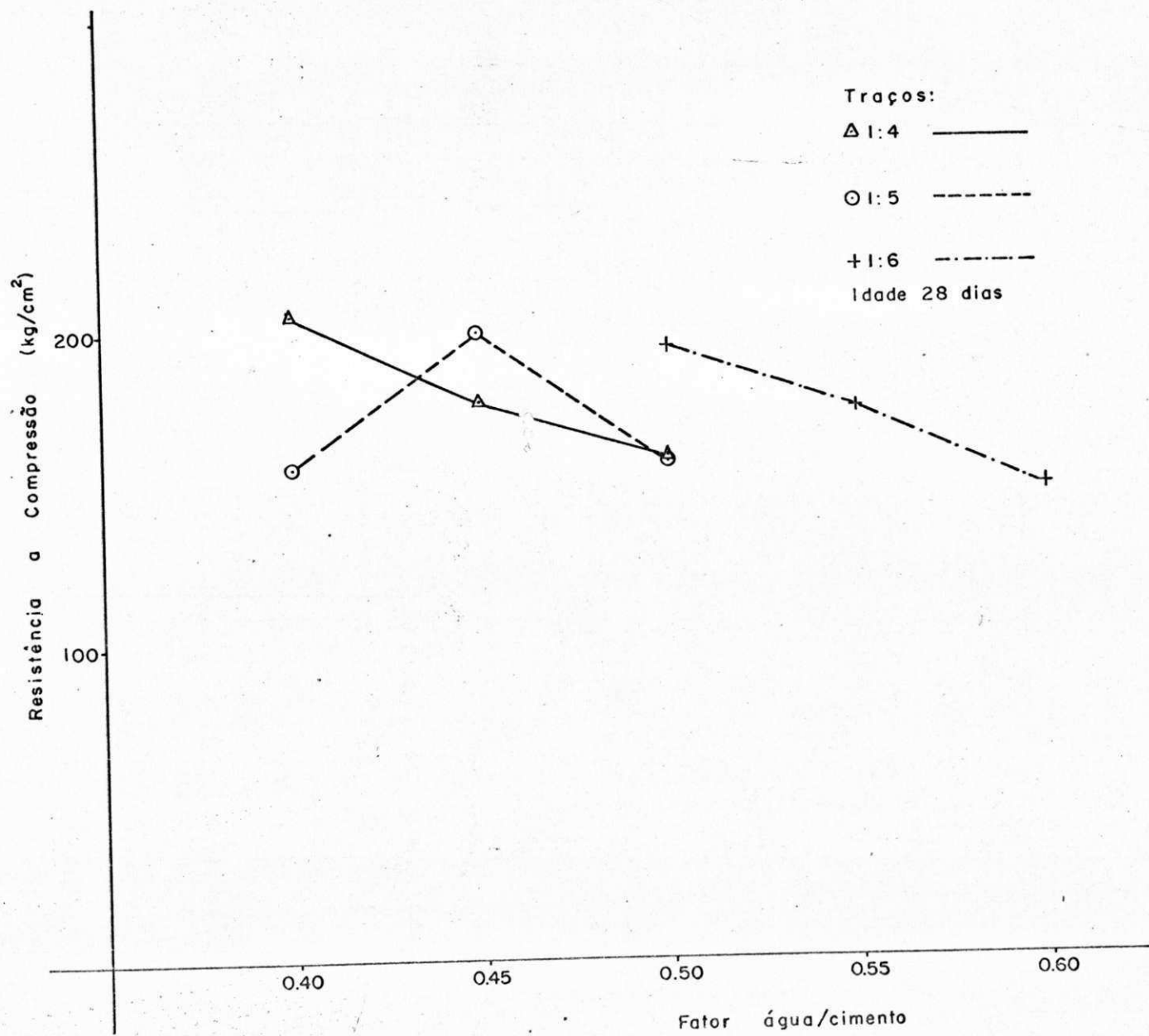


Figura 6.2c Variação da resistência à compressão com o fator água/cimento para tempo de cura de 28 dias.



balhável e um baixo fator água/cimento. Confirma-se esta análise pelo comportamento do traço 1:6 que num estudo experimental, não apresentou trabalhabilidade para fator água/cimento de 0.40 e 0.45, impedindo a moldagem de corpos de prova neste traço, para esses fatores. Entretanto pode-se observar que, de uma maneira geral, a resistência à compressão diminui com o aumento do fator água/cimento para todos os traços, como ocorre quando se utiliza na mistura o agregado normalmente empregado (33).

Na Figura 6.2d observa-se o aumento da resistência à compressão com o aumento do tempo de cura para todos os traços utilizados, como ocorre quando se utiliza brita ou seixo rolado como agregado. Isto justifica-se pelo aumento da resistência da argamassa, pelo maior hidratação do cimento.

Comparando com valores de resistência à compressão para corpos de prova de concreto que utiliza brita ou seixo rolado como agregado graúdo, apresentados na literatura (26). Verifica-se que a resistência à compressão do concreto laterítico é consideravelmente inferior, quando se consideram as mesmas condições de ensaio. Isto justifica-se pelo fato do concreto laterítico apresentar sua resistência limitada pela resistência do agregado, pois ao contrário do que ocorre quando é utilizado agregado normal, a ruptura do corpo de prova submetido à carga de compressão se dá no agregado e não na argamassa, como ocorre normalmente. Em vista disso pode-se concluir que, utilizando-se laterita com concreções mais fortes deve-se obter concreto que apresenta resistência à compressão mais elevada do que a obtida, qualquer que seja o traço utilizado. Outros fatores também influenciam para baixa resistência do concreto laterítico são: alta percentagem de teor de torrões de argila e materiais pulverulentos, pois os mesmos prejudicam a aderência entre a argamassa e o agregado.

#### Resistência à Tração

A variação da resistência à tração com o fator água/cimento para as diferentes proporções cimento/agregado utilizadas, é mostrada nas Figuras 6.3a, 6.3b e 6.3c.

Figura 6.2d Relação entre a resistência à compressão e tempo de cura para todos os traços e fatores  $\bar{a}$  gua/cimento utilizados



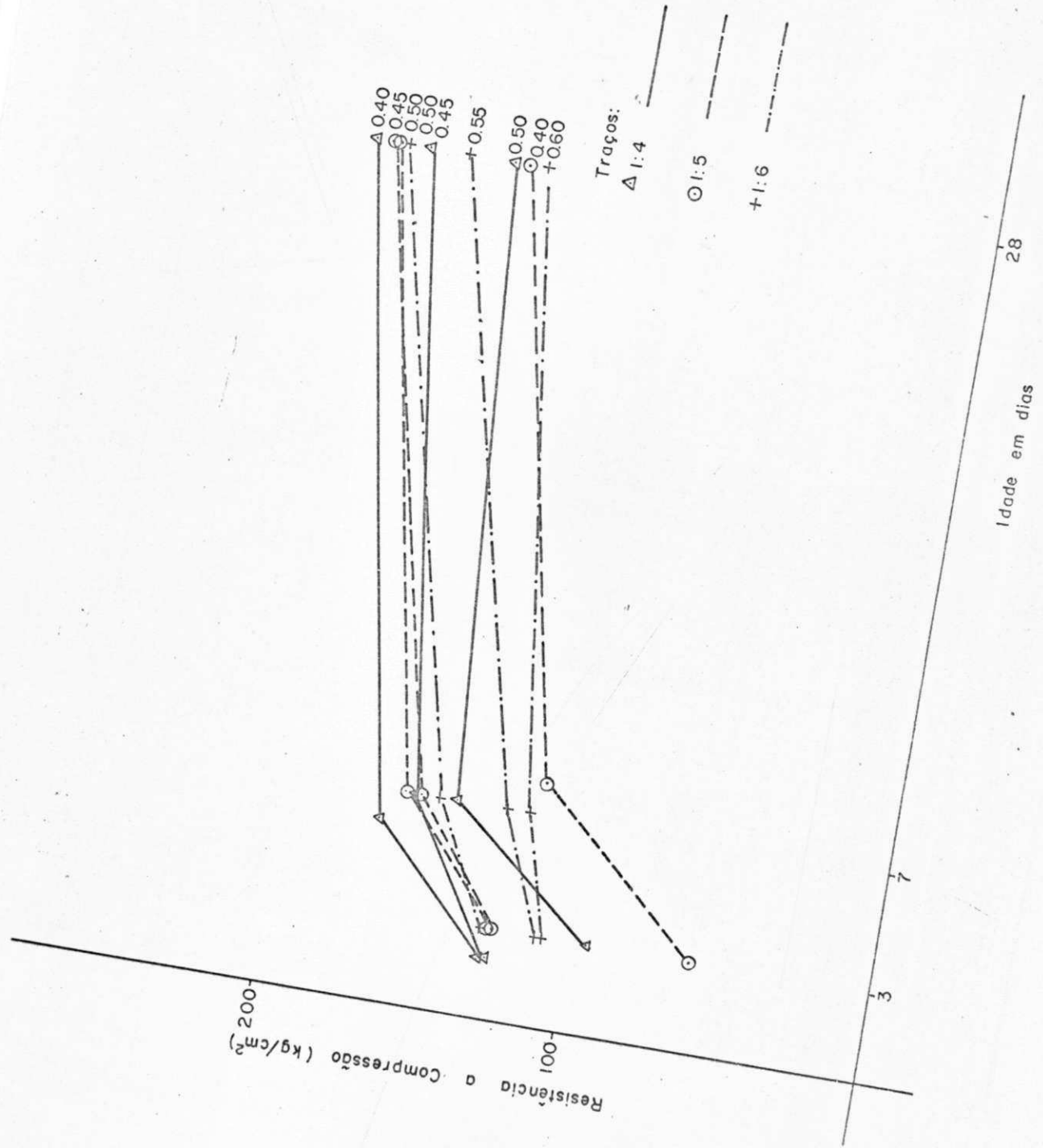


Figura 6.3a Variação da resistência à tração com o fator  $\bar{a}$  gua/cimento para tempo de cura de 3 dias

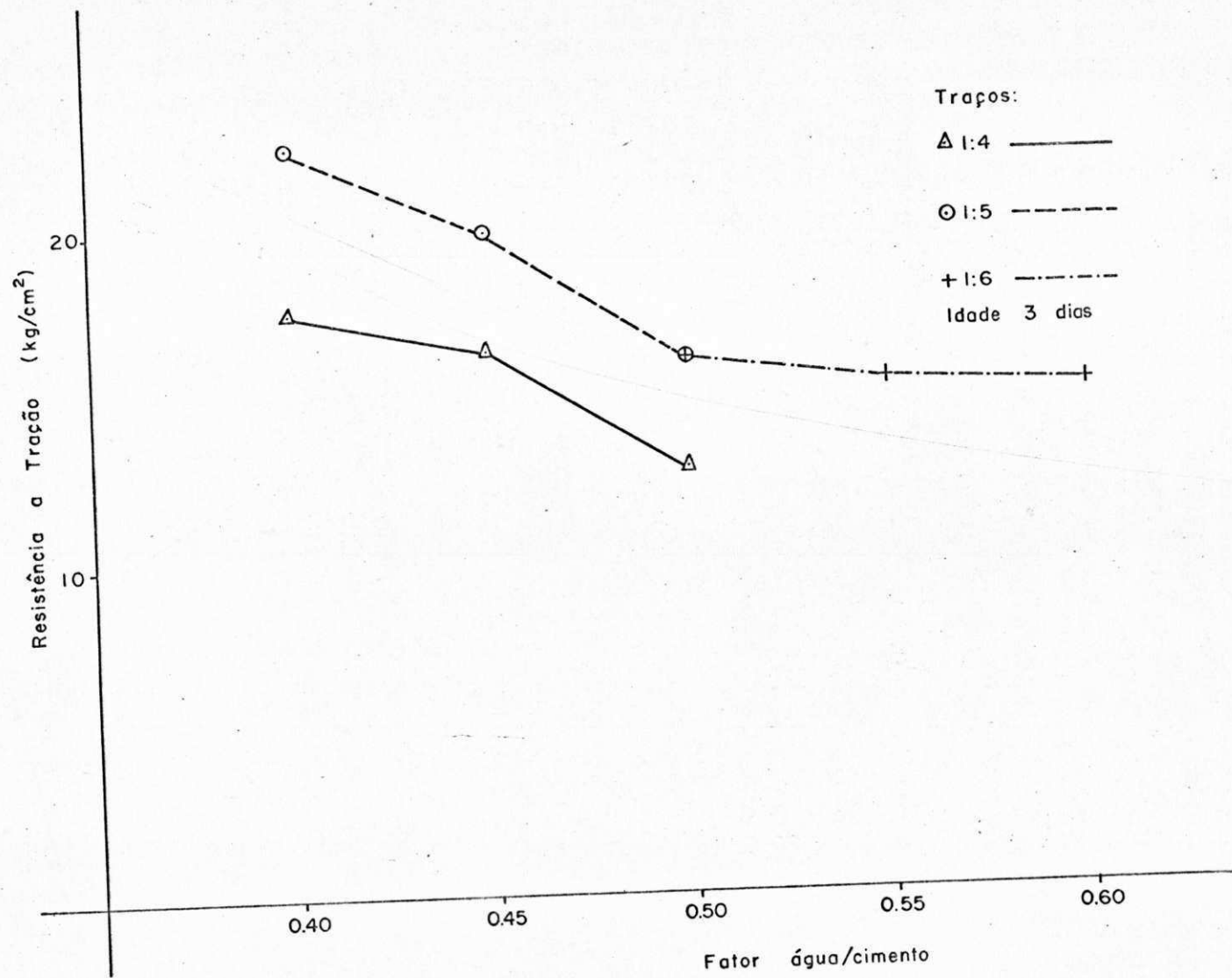
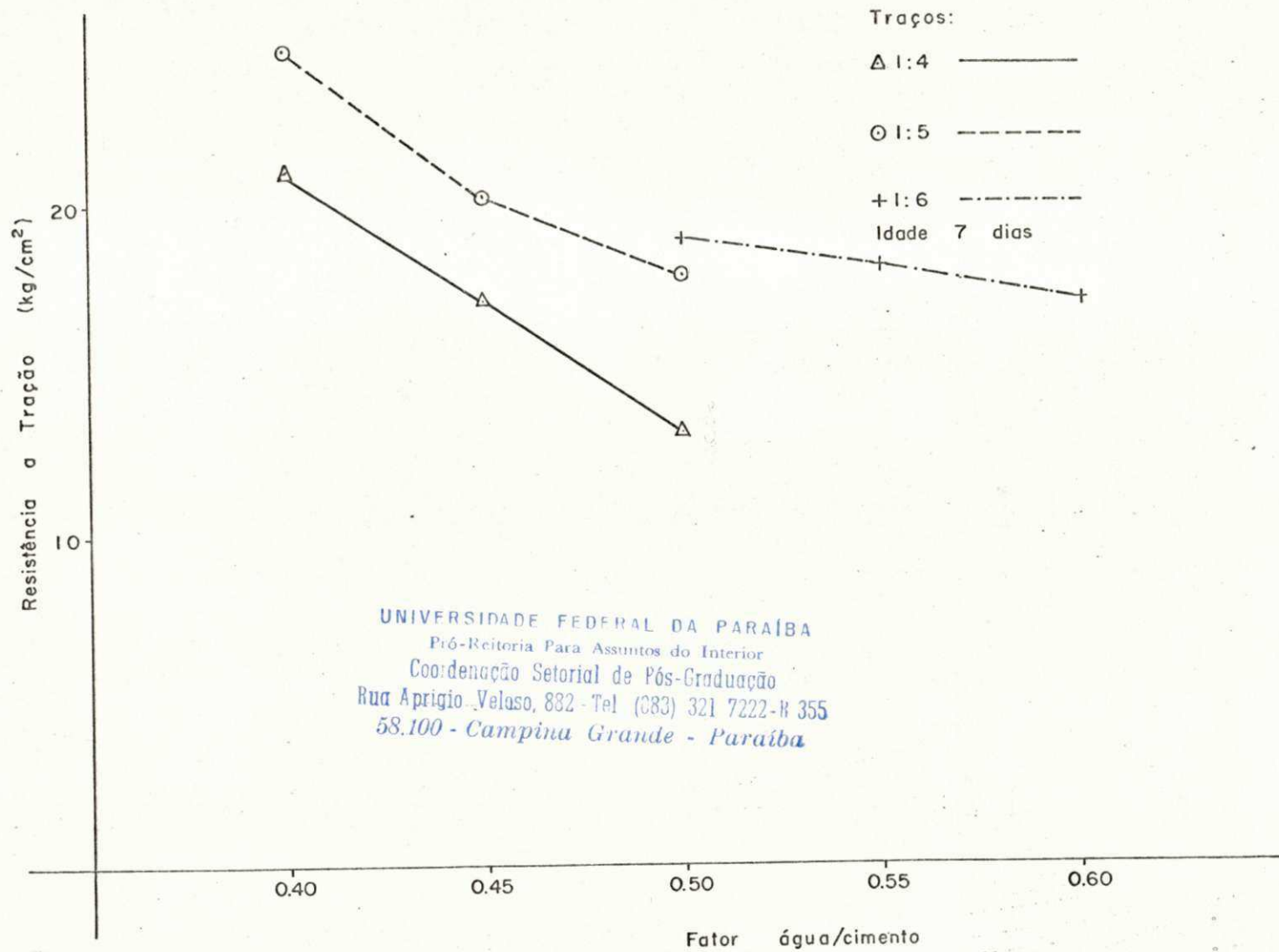


Figura 6.3b Variação da resistência à tração com o fator  $\bar{a}$   
gua/cimento para tempo de cura de 7 dias

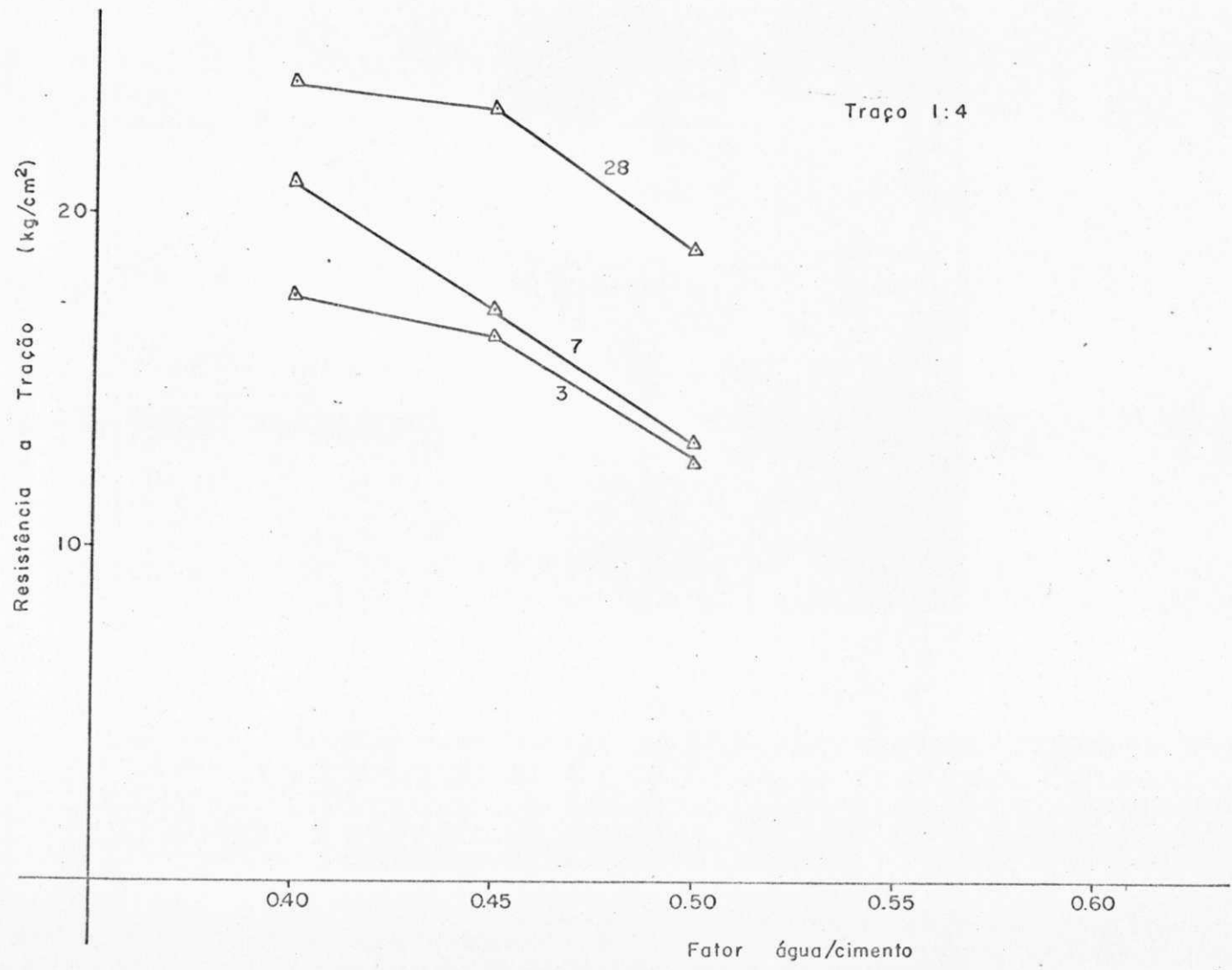


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
 Rua Aprígio Veloso, 882 - Tel (083) 321 7222-R 355  
 58.100 - Campina Grande - Paraíba



Figura 6.3c Variação da resistência à tração com o fator  $\bar{a}$   
gua/cimento para tempo de cura de 28 dias

Figura 6.4a Relação entre resistência à tração e fator  $\bar{a}$  gua/cimento para o traço 1:4 e todos os tempos de cura



Traço 1:4

28

7

3

Resistência a Tração (kg/cm²)

Fator água/cimento

Figura 6.4b Relação entre resistência à tração e fator  $\bar{a}$   
gua/cimento para o traço 1:5 e todos os tempos  
de cura

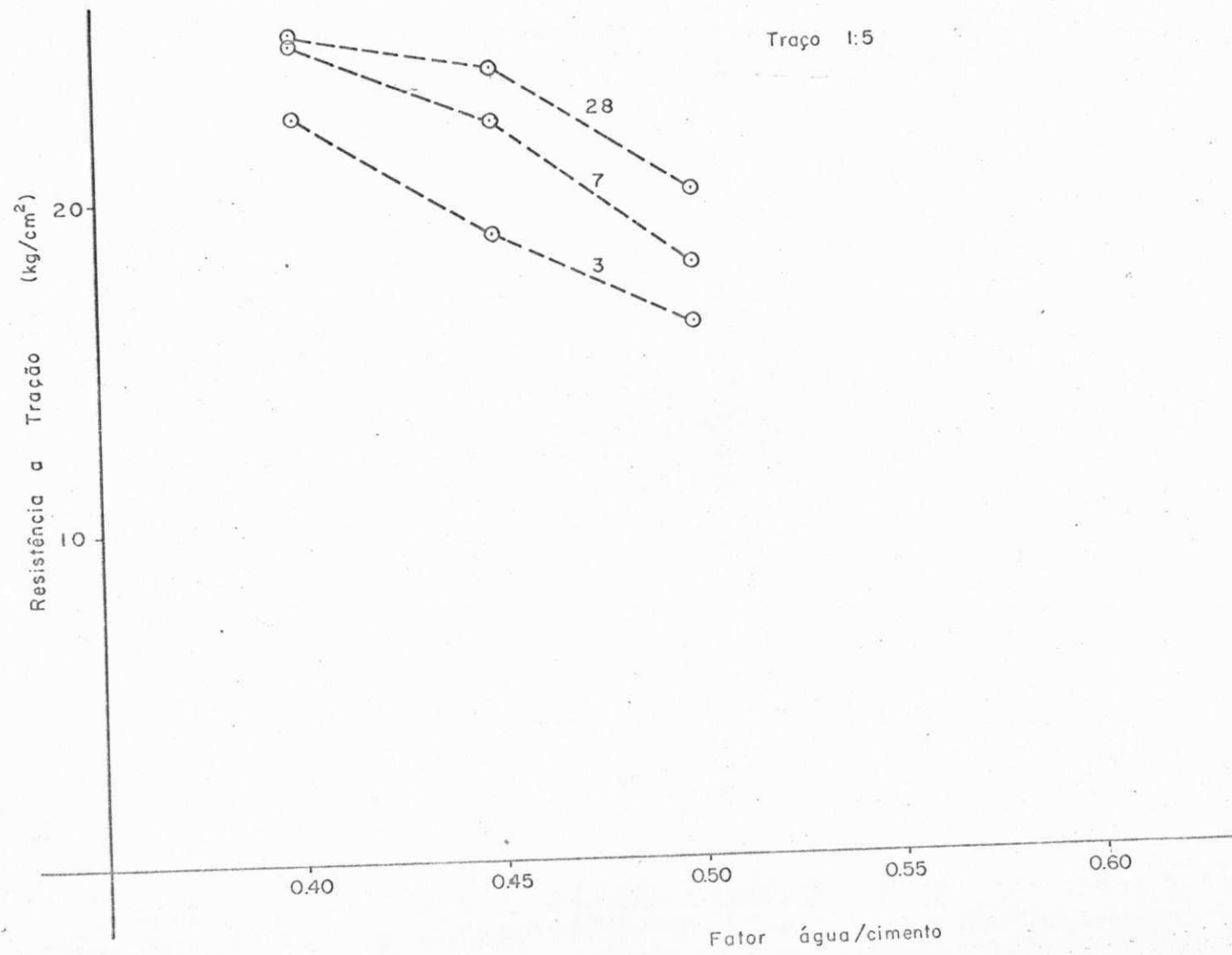




Figura 6.4c Relação entre resistência à tração e fator  $\bar{a}$   
gua/cimento para o traço 1:6 e todos os tipos  
de cura

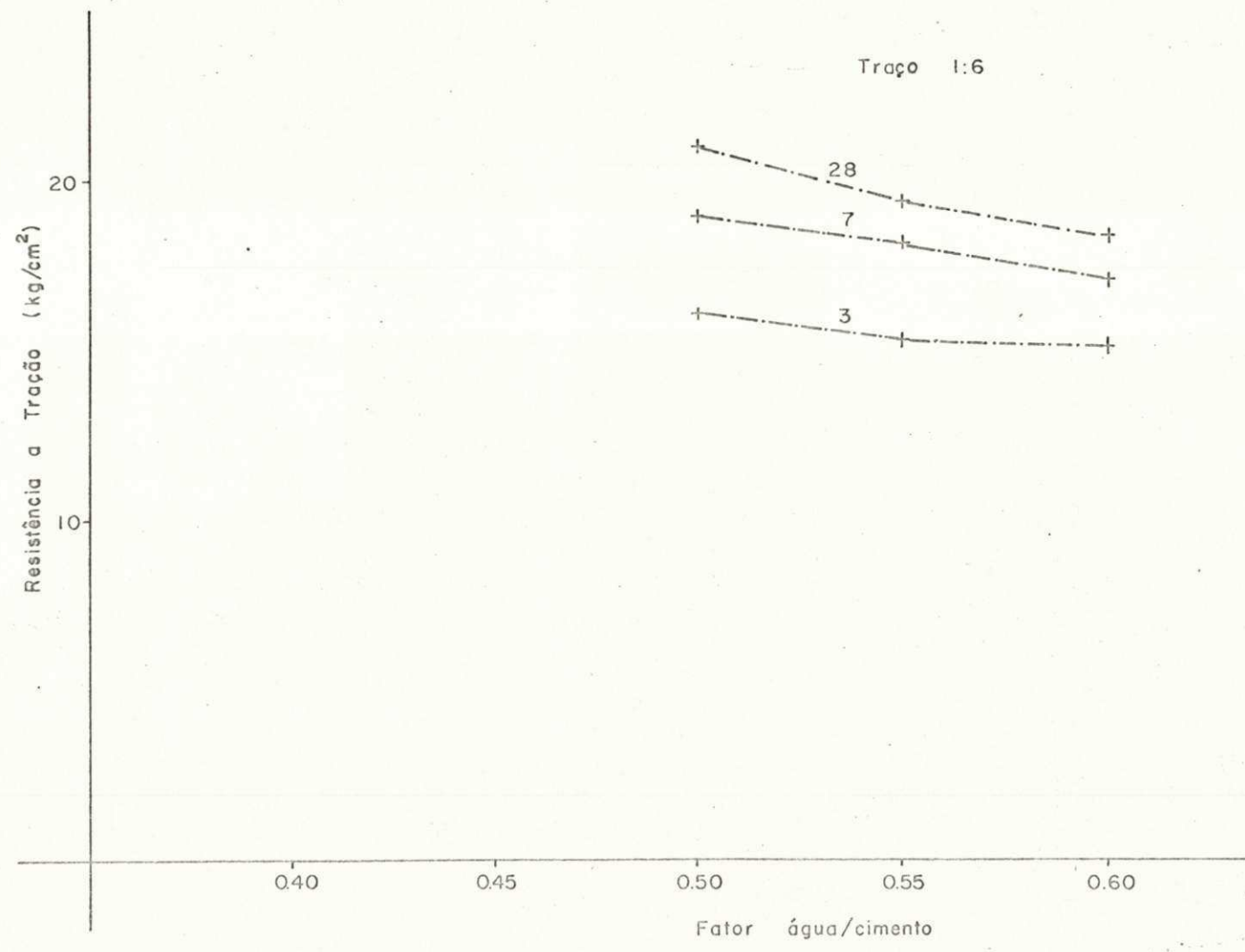


Figura 6.5 Detalhes da seção de rutura de um corpo de prova à tração mostrando que a rutura ocorre no agregado

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso, 882 Tel (033) 321 7222-R 355  
58.100 - Campina Grande - Paraíba

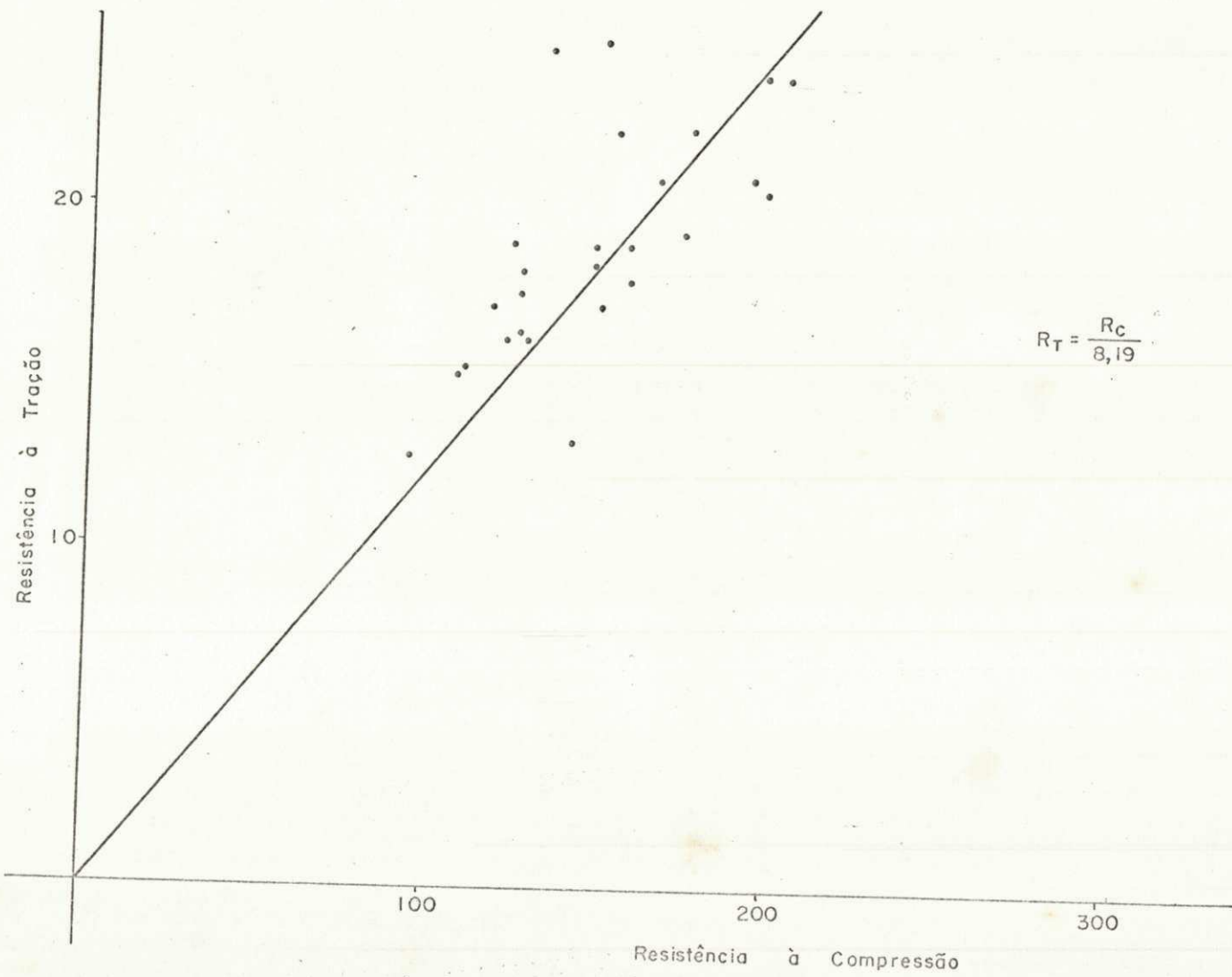


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso, 882 Tel (033) 321 7222-R 355  
58.100 - Campina Grande - Paraíba



Figura 6.6 Relação entre resistência à tração e à compressão





## CAPÍTULO VII

### CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos nos diversos ensaios executados, pode-se apresentar as seguintes conclusões:

1. A trabalhabilidade do concreto laterítico avaliada através do Slump e Vebe, aumenta com o aumento do fator água/cimento. Para um mesmo fator água/cimento o Slump diminui com o aumento da relação cimento/agregado.
2. A resistência à compressão do concreto laterítico, comparado com a do concreto realizado com agregado normal é quase a metade desta última, para as mesmas relações cimento/agregado, e para os mesmos fatores água/cimento utilizados nesta pesquisa.
3. A resistência à compressão normalmente diminui para a maioria da relação cimento/agregado com o aumento do fator água/cimento, exceto para o fator água/cimento 0.40. Uma interpretação qualitativa foi apresentada.
4. A resistência à tração normalmente diminui a medida que aumenta o fator água/cimento. Para um mesmo fator água/cimento, quanto maior a relação cimento/agregado, maior a resistência à tração.
5. A relação entre a resistência à compressão e a resistência à tração é dada pela equação  $R_t = \frac{R_c}{8,19}$  bastante próxima da apresentada quando se utiliza agregado normal.
6. Os valores de resistência à tração e à compressão nos concretos que utilizam agregados lateríticos são limitados pela resistência do agregado, pois o rompimento dos corpos de prova ocorrem no agregado e não na argamassa como ocorre quando é utilizado o agregado normal.

7. Os resultados apresentados nesta pesquisa são bastantes ani  
madores quanto a utilização do agregado laterítico como ma  
terial de concreto, apresentando uma real viabilidade tēni  
co-econômica de ser utilizado em regiões onde é difícil a  
obtenção do agregado normal, em construções baixas, em pa  
redes divisórias de enchimento; em obras de arte menos im  
portantes de uma rodovia, leitos e camadas preparatórias.

## CAPÍTULO VIII

### SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Analizando-se os resultados obtidos nesta pesquisa, sugere-se o desenvolvimento de alguns tópicos que seriam de grande valia para a complementação deste trabalho, bem como de interesse para uma melhor compreensão do comportamento do concreto laterítico:

1. Estudar de maneira mais detalhada as propriedades físicas e mecânicas do agregado laterítico, a fim de melhor verificar a influência das mesmas no concreto laterítico.
2. A reação química entre a sílica existente no agregado e os álcalis do cimento pode provocar no concreto rutura e desintegração, sendo portanto necessário um estudo de laboratório a fim de se determinar a influência da reatividade potencial álcalis-agregado no concreto laterítico.
3. Devido a limitação deste trabalho, sugere-se o estudo de outras propriedades do concreto laterítico, como durabilidade, permeabilidade, contração, creep, expansão térmica, módulo de elasticidade, etc.
4. Um estudo do concreto laterítico levando em consideração o tempo de lavagem, pois a eliminação dos materiais pulverulentos e torrões de argila conduz à resistência bem mais e levadas do que a que é obtida quando da utilização de agregados sem lavagem, como os que foram usados nesta pesquisa.
5. Realização de ensaios com todo o material laterítico, incluindo a fração areia, com o objetivo de determinar a possibilidade de seu aproveitamento, principalmente nas regiões onde há carência do material areia.



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

- 1 - Petrucci, E.G., Concreto de Cimento Portland, Editora Globo, Porto Alegre, 1973.
- 2 - Neville, A.M., Properties of Concrete, Pitman Publishing, Inglaterra, 1972.
- 3 - Road Research Laboratory, Concrete Roads Design and Construction, Her Majesty's Stationery Office, London, 1956.
- 4 - S. Walker e D.L. Bloem, Estudo da Resistência a Flexão do Concreto, Joint Research Laboratory Publicans, Washington, 1956.
- 5 - Orchard D.F., Concrete Technology, C.R., Books Limited, London, 1964, Vol. II.
- 6 - O'Flaherty, C.A., Highways. Edwerd Arnold (Publishers) . London, 1967.
- 7 - McIntosh, J.D., Basic Principles of Concrete Mix Design, Proceedings of a Simposium on Mix Design and quality control of Concrete Cement and Concrete Ass<sup>o</sup>ciation, London, 1954.
- 8 - Newman, K., The Effect of Water Absorption by Aggregates on the Water Cement ratio of Concrete, Magazine of Concrete Research, London, Vol. II, N<sup>o</sup>33, 1959.
- 9 - S. Brunauer, P.H., Emmett and E. Teller, Absorption of Gases in Multimolecular Layers, J. Amerchem. Soc. 60, 1938.
- 10 - Highway Research Record, Grading of Concrete Aggregates, Number 441, 1973.
- 11 - Recommendel Practice for Selecting Proportions for Normal Weight Concrete (ACI 211-1-7), ACI Jour, Proc. Vol. 67, N<sup>o</sup> 12, 1970.
- 12 - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Especificações e Métodos de Ensaio, 1973.
- 13 - Newman, K., The Use of Workability test for Concrete Mix Design and Quality Control, Imperial College, Concrete, Structures and Technology, 1960.
- 14 - Popovics, S. Reefsheel in Portland Cement Concrete, Alabama Highway Research, Montgomery, 1968.



- 15 - K.K. Schiller, Porosity and Strength of Brittle Solids, Mechanical Properties of non Metallic Brittle Materials, London, 1958.
- 16 - A.M. Neville, Some Aspects of the Strength of Concrete, Civil Engineering, London, 1959.
- 17 - National Sand and Gravel Association, Joint Teach, information Letter nº 155, Washington, 1959.
- 18 - Parate, N.S., Brittle Fracture of Rocks, 121, Nº 2. pp 13-141, Mining Magazine, London, United Kingdom, 1969.
- 19 - R. Jones and M.F. Kaplan, The Effects Coarse Aggregate on the mode of failure of Concrete in Compression and Flexure, Mg. Concr. Res., 9, nº 26, pp 89-94, 1957.
- 20 - H.C. Erntroy and B.W., Shacklock, Design of high Strength Concrete Mixes, Proc. of a Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete, London, 1954.
- 21 - Ferro, J.G., A Influência da Cal nas Propriedades de Engenharia de Solos Lateríticos, Tese M.Sc., Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, 1976.
- 22 - Melo, A.L., Santana, H e Silva, L.T., Geotecnia da Transamazônica, Trabalho apresentada na II Reunião das Organizações Rodoviárias do Brasil em conjunto com a International Road Federation Meeting, Brasília, DF, 1972.
- 23 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Especificações Gerais para Obras Rodoviárias, D.N.E.R, 1971.
- 24 - United States Agency For International Development Late rite and Lateritic Soils and Other Problem Soils of Africa. Report prepared by Lyons Associates, Inc., and Bulding and Road Research Institute Ghana U.S.A.I.D., 1971.
- 25 - Borba, G.R., Propriedades de Resistência de Um Solo Vermelho do Estado da Paraíba. Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, 1976.
- 26 - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, As Lateritas do Ultramar Portugues, Memoria Nº 141, Lisboa, 1959.
- 27 - SUDENE, Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba, Levantamento Exploratório, Boletim Técnico Nº 15. DER/SUDENE, Recife, 1972.
- 28 - Lucena, F.B., Propriedades de Solos Vermelhos do Estado da Paraíba. Tese M.Sc. Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, Campina Grande - Paraíba, 1976.

- 29 - Companhia Paraibana de Cimento Portland (CIMEPAR). João Pessoa, Paraíba fornecedora do Cimento Portland ZEBU.
- 30 - Bezerra R.L., A Durabilidade dos Solos Lateríticos Estabilizados com Cimento e Aditivos. Tese M.Sc. Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, Campina Grande, Paraíba, 1976.
- 31 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Métodos de Ensaios. 1966.
- 32 - British Standards Institution. Methods of Testing Concrete, BS:1881: Part 3:1970, London.
- 33 - Raju, N.K. and Ramakrishnan, R., Properties of Laterite aggregate Concrete. *Materiaux et Constructions*. Volume 5. Nº 29, 1972.
- 34 - Parate, N.S., Brittle Fracture Theories and their Application to Rockfracture. Paper Presented to Flow Through Porous Media. Conference, Maringá State University, Maringá, Brasil, 1975.
- 35 - Parete, N.S., Influence of Water on the Strength of Limestone. June, Vol. 254, New York, USA, 1973.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Parate, N.S. do Conselho Canadense e professor visitante (CIDA - Waterloo), pela orientação e estímulo para a realização deste trabalho.

Aos professores J.G. Cabrera e Mamoru Haruna, pelos conhecimentos e incentivo transmitidos durante o curso de Pós-Graduação.

Ao professor Ademilson Montes Ferreira, pela ajuda prestada na redação deste trabalho.

Ao Engenheiro Artur Francisco de Melo Gomes pela ajuda prestada durante a realização dos ensaios de laboratório.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo suporte financeiro.

Aos Funcionários do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, Jeconias D. Costa e Manoel Dias pela ajuda na Datilografia e realização de ensaios, e Windsor Ramos pela confecção dos desenhos.

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS DOS  
AGREGADOS GRAÚDOS E MIÚDOS

APÊNDICE A

PENEIRAS MM	PESO RETIDO (g)	P E R C E N T A G E N S		
		RETIDO	ACUM. RETIDO	AC. QUE PASSA
50	0	0	0	100
38	2031,53	10,27	10,82	89,80
25	5546,70	27,85	38,06	61,94
19	4043,24	20,30	50,37	41,63
9,5	6133,24	30,81	89,18	10,82
4,8	2155,13	10,82	100,0	0

Diâmetro máximo = 50 mm  
Módulo de Finura = 8,0

PENEIRAS MM	PESO RETIDO (g)	P E R C E N T A G E N S	
		RETIDO	ACUM. RETIDO
4,8	0	0	0
2,4	121,10	12,11	12,11
1,2	277,20	27,72	39,83
0,6	273,60	27,36	67,19
0,3	194,10	19,41	86,60
0,15	93,90	9,39	95,90

Diâmetro máximo = 4,8 mm  
Módulo de Finura = 3,0



CÁLCULO DAS PERCENTAGENS EM PESO  
DA AREIA E DO AGREGADO GRAUÃO

APÊNDICE B

ma = módulo de finura de areia

mg = módulo de finura do agregado graúdo

mf = módulo de finura correspondente à Curva de Fuller

x = percentagens em peso de areia

y = percentagens em peso do agregado graúdo

$$ma \frac{x}{100} + mg \frac{y}{100} = mf \quad (1)$$

$$x + y = 100 \quad (2)$$

$$3.01 \frac{x}{100} + 8.0 \frac{y}{100} = 6.15$$

$$x + y = 100$$

tirando o valor de x em (2) e substituindo em (1) teremos

$$y \cong 63\%$$

$$x \cong 37\%$$

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso, 882. Tel. (81) 321 7222-R 355  
58.100 - Campina Grande - Paraíba

APENDICE C

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA RUTURA Kg	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
C1	28	27.200	177	153,67	205,08
C1	28	32.600	177	184,18	
C1	28	40.000	177	225,98	
C1	28	43.000	177	242,93	
C1	28	35.000	177	197,74	
C1	28	40.000	177	225,98	
C2	7	32.900	177	185,87	167,51
C2	7	24.000	177	135,59	
C2	7	33.000	177	186,44	
C2	7	33.000	177	186,44	
C2	7	37.000	177	209,03	
C2	7	18.000	177	101,69	
M1	3	29.500	177	166,66	127,58
M1	3	13.000	177	73,44	
M1	3	20.000	177	112,99	
M1	3	27.000	177	152,54	
M1	3	24.000	177	135,59	
M1	3	22.000	177	124,29	

TABELA C.1 Valores da resistência à compressão  
Traço 1:4  
Fator Água/cimento = 0.40

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA	ÁREA	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
C3	28	39.000	177	220,33	176,27
C3	28	22.000	177	124,29	
C3	28	27.700	177	156,49	
C3	28	37.500	177	211,86	
C3	28	30.000	177	169,49	
C3	28	31.000	177	175,14	
C4	7	19.500	177	101,16	150,65
C4	7	27.500	177	155,36	
C4	7	36.500	177	206,21	
C4	7	24.000	177	135,59	
C4	7	22.000	177	124,29	
C4	7	30.500	177	172,31	
M2	3	21.500	177	121,46	127,11
M2	3	25.000	177	141,24	
M2	3	26.000	177	146,89	
M2	3	24.000	177	135,59	
M2	3	20.000	177	112,99	
M2	3	18.500	177	104,51	

TABELA C.2 Valores da resistência à compressão  
Traço 1:4  
Fator Água/cimento 0.45



CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA	ÁREA Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
C5	28	28.000	177	158,19	159,60
C5	28	31.500	177	177,96	
C5	28	21.000	177	118,64	
C5	28	19.000	177	107,34	
C5	28	32.000	177	180,79	
C5	28	38.000	177	214,68	
C6	7	28.800	177	162,71	143,40
C6	7	18.000	177	101,69	
C6	7	29.000	177	163,84	
C6	7	22.000	177	124,29	
C6	7	29.500	177	166,66	
C6	7	25.000	177	141,24	
M3	3	21.500	177	121,46	94,15
M3	3	18.500	177	104,51	
M3	3	10.000	177	56,49	
M3	3	21.500	177	121,46	
M3	3	18.500	177	104,51	
M3	3	10.000	177	56,49	

TABELA C.3 - Valores da resistência à compressão  
 Traço 1:4  
 Fator Água/cimento 0.50

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA	ÁREA Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
200	28	26.200	177	148,02	150,75
200	28	23.300	177	131,64	
200	28	26,400	177	149,15	
200	28	23.200	177	131,07	
200	28	34.000	177	192,09	
200	28	27.000	177	152,54	
2	7	23.700	177	133,89	134,08
2	7	22.000	177	124,29	
2	7	25.000	177	141,24	
2	7	26.500	177	149,71	
2	7	25.700	177	145,19	
2	7	19.500	177	110,16	
A	3	14.200	177	80,22	59,03
A	3	8.000	177	45,19	
A	3	10.500	177	59,32	
A	3	8.000	177	45,19	
A	3	12.500	177	10,62	
A	3	9.500	177	53,67	

TABELA C.4 Valores da resistência à compressão  
Traço 1:5  
Fator Água/cimento 0.40

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA Kg	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
6	28	48.000	177	271,19	198,86
6	28	33.000	177	186,44	
6	28	30.000	177	169,49	
6	28	28.000	177	158,19	
6	28	37.000	177	209,03	
5	7	25.000	177	141,24	
5	7	31.000	177	157,14	154,42
5	7	30.000	177	169,49	
5	7	28.000	177	158,19	
5	7	25.000	177	141,24	
5	7	25.000	177	141,24	
4	3	25.700	177	145,19	
4	3	15.000	177	84,75	124,01
4	3	25.000	177	141,24	
4	3	18.000	177	101,69	
4	3	20.500	177	115,82	
4	3	27.500	177	155,37	

TABELA C.5 Valores da resistência à compressão  
 Traço 1:5  
 Fator Água/cimento 0.45

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA Kgf	ÁREA cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg /cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg /cm <sup>2</sup>
10	28	25.000	177	141,24	198,68
10	28	45.000	177	254,24	
10	28	35.000	177	197,74	
10	28	24.000	177	135,59	
10	28	43.000	177	242,94	
10	28	35.000	177	220,34	
9	7	30.500	177	172,32	158,48
9	7	32.500	177	183,62	
9	7	22.000	177	124,29	
9	7	28.500	177	161,01	
9	7	31.500	177	177,97	
9	7	23.300	177	131,64	
8	3	21.200	177	119,78	124,20
8	3	24.500	177	138,42	
8	3	20.000	177	112,99	
8	3	21.500	177	121,47	
8	3	22.600	177	127,68	
8	3	22.100	177	124,86	

TABELA C.6 Valores da resistência à compressão  
 Traço 1:5  
 Fator Água/cimento 0.50

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA Kg	ÁREA Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg /cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg /cm <sup>2</sup>
S1	28	41.200	177	232,76	194,16
S1	28	39.000	177	220,33	
S1	28	33.000	177	186,44	
S1	28	29.000	177	163,84	
S1	28	22.000	177	124,29	
S1	28	42.000	177	237,28	
S2	7	19.000	177	107,34	148,30
S2	7	32.000	177	180,79	
S2	7	18.000	177	101,69	
S2	7	31.000	177	175,14	
S2	7	25.000	177	141,24	
S2	7	32.500	177	183,61	
P1	3	24.000	177	135,59	129,94
P1	3	25.000	177	141,24	
P1	3	27.000	177	152,54	
P1	3	20.500	177	115,81	
P1	3	19.500	177	110,16	
P1	3	22.000	177	124,29	

TABELA C.7 Valores da resistência à compressão  
 Traço 1:6  
 Fator Água/cimento 0.50



CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA Kg.	ÁREA Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg /cm <sup>2</sup>
S3	28	25.500	177	144,06	174,19
S3	28	40.000	177	225,98	
S3	28	21.500	177	121,46	
S3	28	24.000	177	135,59	
S3	28	35.500	177	200,56	
S3	28	38.500	177	217,51	
S4	7	20.500	177	115,81	127,87
S4	7	22.500	177	127,11	
S4	7	24.500	177	138,41	
S4	7	21.500	177	121,46	
S4	7	22.800	177	128,81	
S4	7	24.000	177	135,59	
P2	3	20.000	177	112,99	111,58
P2	3	26.500	177	149,71	
P2	3	28.500	177	161,01	
P2	3	16.000	177	90,39	
P2	3	12.500	177	70,62	
P2	3	15.000	177	84,74	

TABELA C.8 Valores da resistência à compressão  
Traço 1:6  
Fator Água/cimento 0.55

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA DE RUTURA Kg	ÁREA Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg /cm <sup>2</sup>
S5	28	30.500	177	172,31	148,77
S5	28	25.000	177	141,24	
S5	28	24.000	177	135,59	
S5	28	30.000	177	169,49	
S5	28	18.000	177	101,69	
S5	28	30.500	177	172,31	
S6	7	24.500	177	138,41	119,30
S6	7	21.800	177	123,16	
S6	7	26.000	177	146,89	
S6	7	21.900	177	123,72	
S6	7	15.000	177	84,74	
S6	7	17.500	177	98,87	
P3	3	22.500	177	127,11	109,69
P3	3	20.500	177	115,81	
P3	3	21.500	177	121,46	
P3	3	17.000	177	96,04	
P3	3	16.000	177	90,39	
P3	3	19.000	177	107,34	

TABELA - C.9 - Valores da resistência à compressão  
 Traço 1:6  
 Fator Água/cimento 0.60

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
T1	28	15.000	30.000	1413,7	21,22	23,81
<del>T1</del>	28	16.000	32.000	1413,7	22,63	
T1	28	14.000	28.000	1413,7	19,80	
T1	28	21.500	43.000	1413,7	30,41	
T1	28	18.000	36.000	1413,7	25,46	
T1	28	16.500	33.000	1413,7	23,34	
T2	7	15.500	31.000	1413,7	21,92	20,91
T2	7	14.500	29.000	1413,7	20,51	
T2	7	13.000	26.000	1413,7	18,39	
T2	7	16.500	33.000	1413,7	23,34	
T2	7	14.000	28.000	1413,7	19,80	
T2	7	15.200	30.400	1413,7	21,50	
N1	3	11.000	22.000	1413,7	15,56	17,56
N1	3	14.000	28.000	1413,7	19,80	
N1	3	15.000	30.000	1413,7	21,22	
N1	3	9.000	18.000	1413,7	12,73	
N1	3	15.000	30.000	1413,7	21,22	
N1	3	10.500	21.000	1413,7	14,85	

TABELA C.10 Valores da resistência à tração  
 Traço 1:4  
 Fator Água/cimento 0,40

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CA <sub>RUH</sub>	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA CIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
T3	28	16.500	33.000	1413,7	23,34	21,22
T3	28	16.500	33.000	1413,7	23,34	
T3	28	18.000	36.000	1413,7	25,46	
T3	28	12.500	25.000	1413,7	17,68	
T3	28	12.500	25.000	1413,7	17,68	
T3	28	14.000	28.000	1413,7	19,80	
T4	7	12.400	24.800	1413,7	17,54	17,11
T4	7	14.000	28.000	1413,7	19,80	
T4	7	12.500	25.000	1413,7	17,68	
T4	7	10.900	21.800	1413,7	15,42	
T4	7	11.800	23.600	1413,7	16,69	
T4	7	11.000	22.000	1413,7	15,56	
N2	3	11.900	23.800	1413,7	16,83	16,36
N2	3	13.000	26.000	1413,7	18,39	
N2	3	12.000	24.000	1413,7	16,97	
N2	3	11.500	23.000	1413,7	16,97	
<del>N2</del>	3	11.000	22.000	1413,7	15,56	
N2	3	10.000	20.00	1413,7	14,14	

TABELA C.11 Valores da resistência à tração  
 Traço 1:4  
 Fator Água/cimento 0.45

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
T5	28	14.500	29.000	1413,7	20,51	18,98
T5	28	15.500	31.000	1413,7	21,92	
T5	28	12.000	24.000	1413,7	16,97	
T5	28	12.000	24.000	1413,7	16,97	
T5	28	13.500	27.000	1413,7	19,09	
T5	28	13.000	26.000	1413,7	18,39	
T6	7	9.000	18.000	1413,7	12,73	13,15
T6	7	8.800	17.600	1413,7	12,44	
T6	7	12.000	24.000	1413,7	16,97	
T6	7	10.000	20.000	1413,7	14,14	
T6	7	6.000	12.000	1413,7	8,48	
T6	7	10.000	20.000	1413,7	14,14	
N3	3	7.000	14.000	1413,7	9,90	12,73
N3	3	11.000	22.000	1413,7	15,56	
N3	3	11.500	23.000	1413,7	16,26	
N3	3	7.500	15.000	1413,7	10,61	
N3	3	8.000	16.000	1413,7	11,31	
N3	3	9.000	18.000	1413,7	12,73	

TABELA C.12 - Valores da resistência à tração  
 Traço 1:4  
 Fator Água/cimento 0.50



CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
201	28	19.500	39.000	1413,7	27,58	24,99
201	28	17.000	34.000	1413,7	24,05	
201	28	17.000	34.000	1413,7	24,05	
201	28	17.000	34.000	1413,7	24,05	
201	28	18.500	37.000	1413,7	26,17	
201	28	17.000	34.000	1413,7	24,05	
202	7	19.400	38.800	1413,7	27,44	24,61
202	7	14.500	14.500	1413,7	20,51	
202	7	19.000	38.000	1413,7	26,87	
202	7	14.500	29.000	1413,7	20,51	
202	7	19.000	38.000	1413,7	26,87	
202	7	18.000	36.000	1413,7	25,46	
203	3	15.300	30.600	1413,7	21,64	22,56
203	3	18.000	36.000	1413,7	25,46	
203	3	15.500	31.000	1413,7	21,92	
203	3	14.500	29.000	1413,7	20,51	
203	3	17.400	34.800	1413,7	24,61	
203	3	15.000	30.000	1413,7	21,22	

TABELA C.13 Valores da resistência à tração  
 Traço 1:5  
 Fator Água/cimento 0.40



CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
205	28	13.500	27.000	1413,7	19,09	23,93
205	28	17.500	35.000	1413,7	24,75	
205	28	19.000	38.000	1413,7	26,87	
205	28	17.500	35.000	1413,7	24,75	
205	28	16.000	32.000	1413,7	22,63	
205	28	18.000	36.000	1413,7	25,46	
206	7	15.000	30.000	1413,7	21,22	22,28
206	7	15.000	30.000	1413,7	21,22	
206	7	17.000	34.000	1413,7	24,05	
206	7	15.500	31.000	1413,7	21,92	
206	7	15.000	30.000	1413,7	21,22	
206	7	17.000	34.000	1413,7	24,05	
207	3	15.000	30.000	1413,7	21,22	18,98
207	3	11.000	22.000	1413,7	15,56	
207	3	13.000	26.000	1413,7	18,39	
207	3	12.000	24.000	1413,7	16,97	
207	3	14.500	29.000	1413,7	20,51	
207	3	15.000	30.000	1413,7	21,22	

TABELA C.14: Valores da resistência à tração  
 Traço 1:5  
 Fator Água/cimento 0.45

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
209	28	12.000	24.000	1413,7	16,97	20,44
209	28	16.000	32.000	1413,7	22,63	
209	28	14.500	29.000	1413,7	20,51	
209	28	15.500	31.000	1413,7	21,92	
209	28	13.500	27.000	1413,7	19,09	
209	28	15.200	30.400	1413,7	21,50	
210	7	11.600	23.200	1413,7	16,41	17,84
210	7	16.400	32.800	1413,7	23,20	
210	7	10.500	21.000	1413,7	14,85	
210	7	12.600	25.200	1413,7	17,82	
210	7	13.600	27.200	1413,7	19,24	
210	7	12.200	24.400	1413,7	17,25	
210	7	11.400	22.800	1413,7	16,13	
211	3	11.500	23.000	1413,7	16,26	16,03
211	3	10.000	20.000	1413,7	14,14	
211	3	10.500	21.000	1413,7	14,85	
211	3	12.000	24.000	1413,7	16,97	
211	3	11.500	23.000	1413,7	16,26	
211	3	12.500	25.000	1413,7	17,68	

TABELA C.15 Valores de resistência à tração  
 Traço 1:5  
 Fator Água/cimento 0.50

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
V1	28	16.000	32.000	1413,7	22,63	20,86
V1	28	12.000	24.000	1413,7	16,97	
V1	28	13.000	26.000	1413,7	18,39	
V1	28	15.000	30.000	1413,7	21,22	
V1	28	16.000	32.000	1413,7	22,63	
V1	28	16.500	33.000	1413,7	23,34	
V2	7	13.500	27.000	1413,7	19,09	18,88
V2	7	11.000	22.000	1413,7	15,56	
V2	7	12.000	24.000	1413,7	16,97	
V2	7	15.000	30.000	1413,7	21,22	
V2	7	13.100	26.200	1413,7	18,53	
V2	7	15.500	31.000	1413,7	21,92	
K1	3	13.000	26.000	1413,7	18,39	16,03
K1	3	13.500	27.000	1413,7	19,09	
K1	3	13.000	26.000	1413,7	18,39	
K1	3	10.000	20.000	1413,7	14,14	
K1	3	9.000	18.000	1413,7	12,73	
K1	3	9.500	19.000	1413,7	13,43	

TABELA C.16 Valores da resistência à tração  
 Traço 1:6  
 Fator Água/cimento 0.50

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊN CIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
V3	28	10.500	21.000	1413,7	14,85	19,33
V3	28	14.000	28.000	1413,7	19,80	
V3	28	14.000	28.000	1413,7	19,80	
V3	28	12.500	25.000	1413,7	17,68	
V3	28	15.000	30.000	1413,7	21,22	
V3	28	16.000	32.000	1413,7	22,63	
V4	7	13.000	26.000	1413,7	18,39	18,15
V4	7	13.000	26.000	1413,7	18,39	
V4	7	13.000	26.000	1413,7	18,39	
V4	7	13.000	26.000	1413,7	18,39	
V4	7	11.000	22.000	1413,7	15,56	
V4	7	14.000	28.000	1413,7	19,80	
K2	3	12.500	25.000	1413,7	17,68	15,32
K2	3	12.500	25.000	1413,7	17,68	
K2	3	12.000	24.000	1413,7	16,97	
K2	3	10.500	21.000	1413,7	14,85	
K2	3	9.500	19.000	1413,7	13,43	
K2	3	8.000	16.000	1413,7	11,31	

TABELA C.17 - Valores da Resistência à tração  
 Traço 1:6  
 Fator Água/cimento 0.55

CORPO DE PROVA Nº	IDADE Dias	CARGA Kg	2 x CARGA	$\pi$ DL Cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA Kg/cm <sup>2</sup>	RESISTÊNCIA MÉDIA Kg/cm <sup>2</sup>
V5	28	13.500	27.000	1413,7	19,09	18,29
V5	28	13.100	26.200	1413,7	18,53	
V5	28	14.500	29.000	1413,7	20,51	
V5	28	9.000	18.000	1413,7	12,73	
V5	28	16.000	32.000	1413,7	22,63	
V5	28	11.500	23.000	1413,7	16,26	
V6	7	12.000	24.000	1413,7	16,97	17,18
V6	7	13.500	27.000	1413,7	19,09	
V6	7	12.500	25.000	1413,7	17,68	
V6	7	12.900	25.800	1413,7	18,24	
V6	7	12.000	24.000	1413,7	16,97	
V6	7	10.000	20.000	1413,7	14,14	
K3	3	11.000	22.000	1413,7	15,56	15,08
K3	3	11.500	23.000	1413,7	16,26	
K3	3	12.000	24.000	1413,7	16,97	
K3	3	9.000	18.000	1413,7	12,73	
K3	3	10.000	20.000	1413,7	14,14	
K3	3	10.500	21.000	1413,7	14,85	

TABELA C.18 Valores da resistência à tração  
 Traço 1:6  
 Fator Água/cimento 0.60

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior  
Coordenação Setorial de Pós-Graduação  
Rua Aprígio Veloso, 882 - (83) 321 7222-R 355  
58 100 - Campina Grande - Paraíba

APÊNDICE D



Curva de Fuller calculado por =  $p = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$

PENEIRA (MM)	50	38	19	9,5	4,8	2,4	1,2	0,60	0,30	0,15
ACUM. QUE PASSA	100	87,2	61,65	43,6	31	21,9	15,5	11	7,75	5,5

d = diametro da peneira correspondente

D = diametro máximo do agregado

P = percentagem que passa em cada peneira

TABELA D.1 Curva de Fuller

PENEIRA MM	AGREGADO GRAU DO	AGREGADO MIUDO	MISTURA 37% Areia 63% Laterita
50	100		100
38	89,80		93,57
25	61,94		76,02
19	41,63		63,22
9,5	10,82		43,81
4,8		100	37,0
2,4		87,89	32,51
1,2		60,11	22,26
0,6		32,81	12,13
0,3		13,40	4,95
0,15		4,01	1,48

TABELA D.2 Relação entre agregado miúdo e graúdo.