



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**POTENCIALIDADE DA UTILIZAÇÃO DE ARGILA CALCINADA COMO
AGREGADO GRAÚDO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO**

Filipe de Brito Fratte Modesto

Rio de Janeiro
Fevereiro 2008

Filipe de Brito Fratte Modesto

**POTENCIALIDADE DA UTILIZAÇÃO DE ARGILA CALCINADA COMO
AGREGADO GRAÚDO PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Geologia apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Geologia.

Orientador: Prof^ª. Dra. Helena Polivanov
Prof^ª Dra. Laura Goretti da Motta

Aprovado por:

Prof^ª. Dra. Helena Polivanov

Prof^ª Dra. Laura Goretti da Motta

Prof. Dr. Emilio Velloso Barroso

Rio de Janeiro
Fevereiro 2008

Modesto, Filipe de Brito Fratte

Potencialidade da Utilização de Argila Calcinada como Agregado Graúdo para fins de Pavimentação

XII, 38 p. 29,7 cm (Instituto de Geociências – UFRJ, B. Sc., Curso de Graduação em Geologia, 2008).

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, realizada no Instituto de Geociências

1. *Agregado graúdo* 2. *Argila calcinada*

*Todos estes que aí estão
Atravancando o meu caminho,
Eles passarão.
Eu passarinho!
Mário Quintana*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me trazer paz, calma e tranqüilidade em todos as horas e por sempre iluminar meus caminhos.

Aos meus pais, a minha avó Elza e ao meu irmão pelo apoio incondicional e por sempre acreditarem em mim, não esquecendo da minha namorada por todas as horas de carinho e amizade dedicadas.

À Prof. Dra. Helena Polivanov pelos ensinamentos, sugestões e principalmente pela paciência e amizade dedicada durante a execução deste trabalho.

À Prof^ª Dra. Laura Goretti da Motta por me mostrar essa área e pelo apoio.

Prof. Dr. Emilio Velloso Barroso e seu discípulo Gilmar pelo ajuda e apoio em todos as horas.

Aos meus amigos de laboratórios Vitor Hugo, Renata Alamino, Leandro dos Santos e Bruno sempre prontos para me ajudar e pela paciência de me aturar todo os dias no laboratório.

Ao laboratorista Osório Luiz da Silva e a engenheira Fátima pela colaboração e ensinamentos prestados durante a realização deste trabalho.

Aos meus grandes amigos de turma Carol, Diogo, Rodrigo, Vitor , Renan, Enrico pela ajuda e amizade durante estes cinco anos de curso.

RESUMO

MODESTO, Filipe de Brito Fratte. **Potencialidade da utilização de Argila calcinada como Agregado Graúdo para fins de Pavimentação.** Rio de Janeiro, 2008. xii 38p. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Esta pesquisa está relacionada com estudo da potencialidade da utilização e do emprego de material argiloso calcinado como agregado graúdo para fins de pavimentação. O uso da argila calcinada torna-se necessário devido a carência de materiais pétreos graúdos (brita) em algumas regiões. Para este trabalho foram selecionados quatro solos que foram analisados separadamente e em misturas em diferentes proporções: um latossolo proveniente de Duque de Caxias, RJ; um latossolo de Carajás, PA; um solo residual jovem de Jacarepaguá, RJ e um Gleissolo de Santa Cruz, RJ. Todos os materiais foram caracterizados quanto à granulometria, para classificá-los de acordo com o diagrama de Winkler, limites de Atterberg e mineralogia. Em seguida, os solos e misturas foram moldados e submetidos à queima em mufla a 1000°C. Posteriormente, os parâmetros obtidos foram investigados e comparados com valores de porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente e resistência já existentes na literatura. Os agregados de argila calcinada são usados em obras de pavimentação, portanto, é importante a obtenção de corpos de prova com baixos valores de porosidade e de absorção, visando com isso não só minimizar o teor de ligante asfáltico usado na mistura específica da pavimentação, como também obter materiais com resistência mecânica adequada para suportar os desgastes físicos gerados pelo peso dos veículos. Os resultados apontam que os solos e misturas, usados *in natura*, como os estudados neste trabalho, não servem para uso como agregado graúdo em pavimentação.

Palavras-chave: Agregado graúdo, argila calcinada.

ABSTRACT

MODESTO, Filipe de Brito Fratte. **Potential use of calcined clay material as coarse aggregate for aims of pavement.** Rio de Janeiro, 2008. xii 38p. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

This research is concerned about studying the potential use of calcined clay material as coarse aggregate for aims of pavement. The use of the calcined clay becomes necessary due to lack of coarse rock materials (pebble) in some regions. To attend this, four different soils was chosen and analyzed separately and in different mixtures proportions: a latosol from Duque de Caxias city, RJ; a latosol from Carajás city, PA; a young residual soil from Jacarepaguá and a gley from Santa Cruz, both in Rio de Janeiro city. All materials were characterized due to its grain size (to classify it in accordance to Winkler's diagram), Atterberg limits e mineralogy. Later, soils and mixtures were molded and submitted to burn in muffle, at 1000°C. Subsequently, parameters were investigated and compared with those preexistent values in the literature, such as the apparent porosity, water absorption, dry density and resistance. Since the calcined clay aggregates are used in pavement, it's important to obtain low values of porosity and absorption in specimens, aiming to minimize the asphalt binder content used in the specific mixture of the pavement, and, in this form also, to obtain materials with mechanical resistance to support physical stresses produced by the cars weight's. The results show that these soils and mixtures used on research, *in natura*, do not serve for use as coarse aggregate in pavement.

Keywords: coarse aggregate, calcined clay.

LISTA DE SIMBOLOS

IME- Instituto Militar de Engenharia
COPPE- Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia
DNIT- Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte
DNER- Departamento Nacional de Estrada de Rodagem
IP- Índice de plasticidade
LL- Limite de liquidez
LP- limite de plasticidade
 Σ - somatório
Ms - massa seca
Msat - massa saturada
Me - massa específica da água (1,0g/cm³)
Mea - massa específica aparente
Va - volume aparente
Pa - porosidade aparente (%)
A - índice de absorção (%)
LC- Latossolo Caxias
LA- latossolo Pará
G- Gleissolo
SR- Solo Residual
LATAM- Projeto de caracterização do Regolito para exploração mineral em terrenos lateríticos na Amazônia
ISRM- International Society of Rock Mechanics

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Organograma da metodologia utilizada no estudo.	5
Figura 2 Fotos representativas dos perfis do latossolo de Caxias, RJ. e solo residual jovem, RJ. respectivamente.	6
Figura 3 Fotos representativas dos perfis do latossolo de Pará. e Gleissolo, RJ. respectivamente.....	7
Figura 4 Mistura manual dos solos. Nesta foto mistura de 50%LA x 50%G (fotografia do autor)	8
Legenda: LA=Latossolo Pará; G=Gleissolo	8
Figura 5 Moinho de bolas (fotografia do autor).....	8
Figura 6 Diagrama de Winkler (Pracidelli e Melchiades, 1997 apud Cabral 2005).	9
Figura 7 Difratorômetro Rigaku – Termoflex (Santos, 2005).....	12
Figura 8 Foto representativa da extrusora a vácuo do IME e da UENF. (fotografia do autor)	13
Figura 9 Foto representativa do molde sem solo e com solo no caso 100%LA (fotografia do autor)	13
Figura 10 Foto do forno elétrico tipo mufla (fotografia do autor).....	15
Figura 11 Foto do equipamento de compressão puntiforme. A esquerda o macaco hidráulico com o manômetro acoplado e a direita foto dos cones metálicos (fotografia do autor).....	17
Figura 12 Curva granulométrica da mistura 80%LC : 20%SR.....	19
Figura 13 Curva granulométrica da mistura 60%LC : 40% SR.....	19
Figura 14 Curva granulométrica da mistura 40% LC : 60% SR.....	20
Figura 15 Curva granulométrica 100 % LA	20
Figura 16 Curva granulométrica da mistura 60% LA : 40% G	21

Figura 17 Curva granulométrica da mistura 40% LA : 60 % G	21
Figura 18 Curva granulométrica 100%G	22
Figura 19 Curva granulométrica da mistura 50%LC : 50%G.....	22
Figura 20 Curva granulométrica da mistura 50%LA : 50%G	23
Figura 21 Diagrama de Winkler. Com as misturas e solos plotados, Onde: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo Pará; SR = solo residual; G = gleissolo.....	24
Figura 22Gráfico com valores de porosidade aparente em %	27
Figura 23 Gráfico com valores de absorção em %.....	27
Figura 24 Gráfico com valores de massa específica aparente g/cm^3	28
Figura 25 Foto ilustrativa do momento em que o corpo de prova é rompido, através da compressão puntiforme (fotografia do autor).....	29
Figura 26 Foto do corpo de prova antes e depois de serem rompidos, respectivamente (fotografia do autor).....	29
Figura 27 Gráfico com valores médios do índice IS_{50}	30
Figura 28 Gráfico com valores médios da resistência à compressão simples em MPa.....	31
Figura 29 Gráfico com valores de porosidade aparente versus IS_{50} , de cada corpo de prova..	31
Figura 30 Gráfico com valores de absorção versus IS_{50} , de cada corpo de prova.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores bases do Is(50) em rochas com diferentes graus de alteração. Barroso (1993) (Legenda: I-rocha sã; II-rocha levemente intemperizada; III-rocha moderadamente intemperizada.....	17
Tabela 2: Resultados da análise granulométrica, Onde: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo pará; SR = solo residual; G = gleissolo	18
Tabela 3: Valores em micrometro referentes a granulometria dos solos e misturas. Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo pará; SR = solo residual; G = gleissolo	23
Tabela 4: Resultados do limite de Atterberg, Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo Pará; SR = solo residual; G = gleissolo	25
Tabela 5: Mineralogia da fração argila,.....	26
Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo pará; SR = solo residual; G = gleissolo.....	26
Tabela 6: Valores médios de porosidade, absorção, massa específica, Is(50), Resistência a compressão e índice de plasticidade (IP), Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo Pará; SR = solo residual; G = gleissolo	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações iniciais	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Revisão temática.....	2
1.3.1	Classificação dos agregados.....	2
1.3.2	Histórico	3
2	METODOLOGIA	5
2.1	Trabalho de campo.....	6
2.2	Procedimentos laboratoriais.....	7
2.2.1	Granulometria e diagrama de Winkler	8
2.2.2	Limites de Atterberg	10
2.2.2.1	Limite de liquidez.....	10
2.2.2.2	Limite de plasticidade.....	10
2.2.2.3	Índice de plasticidade.....	10
2.2.3	Preparação dos corpos de prova	12
2.2.3.1	Moldagem e queima dos corpos de prova.....	12
2.2.4	Determinação da porosidade aparente, absorção de água e massa específica aparente nos corpos de prova obtidos na calcinação.....	15
2.2.5	Resistência à compressão Puntiforme.....	16
3	RESULTADOS	18
3.1	Granulometria.....	18
3.1.1	Diagrama de Winkler	23
3.2	Limites de Atterberg.....	25
3.3	Mineralogia.....	25
3.4	Determinação da porosidade aparente, absorção de água, massa específica e resistência à compressão puntiforme	26
4	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A carência de agregados pétreos na região Amazônica inviabiliza economicamente as obras de pavimentação tradicionais da engenharia civil, pois há necessidade de importação de pedra britada de outras regiões para serem utilizadas na mistura asfáltica e concreto, por exemplo.

Para minimizar este problema, tem sido crescente a utilização de métodos alternativos de obtenção de agregados, como a utilização de argila calcinada, tijolos maciços e concreções lateríticas nas possíveis soluções para substituir a brita.

Como na referida região encontram-se em abundância solos como: latossolos, argilossolos, gleissolos e cambissolos (LEPSCH, 2002), o método de produção de agregados artificiais de argila calcinada torna-se potencialmente viável e atrativo.

O IME, através do Departamento de Engenharia e Construção, e a COPPE através do laboratório de Geotecnia, vem desde 1997 desenvolvendo estudos sobre a viabilidade técnica do emprego de agregado artificial de argila calcinada em várias obras em toda região Amazônica como alternativa ao problema da carência de agregados. COSTA *et al.* (2000) e BATISTA (2004) estudaram, no IME, parâmetros de fadiga e resiliência de misturas asfálticas contendo agregados de argila calcinada, cujas matérias-primas foram coletadas em vários locais da Amazônia, incluindo o estado do Acre. Os resultados desses estudos indicaram ser promissor o uso desses agregados artificiais em obras de pavimentação naquele local. NASCIMENTO (2005) junto a COPPE estudou a utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o Estado do Acre, e encontrou resultados promissores no uso de agregados de argila calcinada na aplicação em pavimentos.

1.2 Objetivos

Esta pesquisa baseia-se no estudo da potencialidade da utilização de quatro solos argilosos como agregado graúdo para fins de pavimentação.

O trabalho tem como objetivo analisar o comportamento físico do material obtido pelo processo da queima de solos argilosos para fins de pavimentação.

Os parâmetros que foram investigados e comparados com valores já existentes na literatura são a porosidade aparente, absorção de água, massa específica aparente e resistência. Como os materiais calcinados produzido na calcinação serão utilizados como substituinte ao agregado pétreo na pavimentação torna-se necessário que eles tenham valores dos índices físicos dos corpos de prova adequados. Destaca-se a importância da obtenção de baixos valores de porosidade e de absorção no material produzido visando com isso minimizar o teor de ligante asfáltico usado na mistura específica da pavimentação, e, dessa forma também, obter materiais com resistência mecânica adequada para suportar os carregamentos gerados pelo peso dos automóveis.

1.3 Revisão temática

1.3.1 Classificação dos agregados

De maneira geral os agregados podem ser classificados segundo PINTO (1996), quanto à sua natureza e tamanho. Quanto à sua classificação segundo a natureza, os agregados são divididos em naturais (aqueles que são utilizados tal como se encontram na natureza, salvo operações de britagem e lavagem como, por exemplo, os cascalhos, saibros, areias) e artificiais (aqueles que resultam de uma alteração física ou química de outros materiais, como

a escória de alto forno, argila expandida, ou que exige extração como é o caso das rochas, sendo a pedra britada o tipo mais comum). Quanto ao tamanho, os agregados podem ser classificados em: agregado graúdo (é o material retido na peneira n° 10 - britas, cascalhos, seixos) e agregado miúdo (material que passa na peneira n° 10 e fica retido na n°200 – areia e pó de pedra).

Já PETRUCCI (1971) classifica os agregados quanto a sua densidade: agregados pesados (barita, magnetita etc.), agregados normais (pedra britada e pedregulho) e agregados leves (argila expandida, vermiculita, etc.).

Os agregados artificiais de argila foram definidos por NASCIMENTO (2005) como aqueles provenientes da transformação de um solo ou folhelho argiloso previamente processado, em um material inerte e com resistência mecânica satisfatória a uma determinada finalidade. Estas características são normalmente obtidas através do aquecimento da matéria-prima (solo ou folhelho) em elevadas temperaturas. Este material pode ser dividido em duas classes: agregados leves (expandidas ou sinterizados) e agregados calcinados.

O primeiro grupo baseia-se no fato de que certas argilas ou folhelhos incham ou borbulham quando aquecidos à temperatura de fusão incipiente. No segundo grupo, a menor massa específica aparente é obtida pela sinterização de um material granular.(SANTOS, 1989).

1.3.2 Histórico

Os estudos pioneiros com argilas calcinadas foram realizados na década de 1950, nos Estados Unidos da América. Em 1951, foi construído um novo laboratório de pesquisa do exército no Instituto de Tecnologia de Illinois com o objetivo de desenvolver um bloco de concreto mais leve, mais barato e mais resistente. Os novos blocos de concreto usando argila expandida foram estudados e posteriormente plantas foram construídas utilizando argila

residual da Carolina do Norte na produção de agregado leve. O Texas Highway Department (1951) e o Louisiana Department of Highway (1969) também exemplificam os primeiros trabalhos desenvolvidos no assunto.

No mesmo período no Brasil através da CINASA (atual CINEXPAN) deu-se início aos estudos com agregados de argila expandida e até hoje é a única fábrica de argila expandida do Brasil, localizada em Várzea Paulista, SP. O DNIT, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transporte (antigo DNER) desde 1981, o IME (Instituto Militar de Engenharia) e a COPPE iniciaram em 1998 suas pesquisas em argila calcinada para uso em pavimentação.

2.1 Trabalho de campo

A idéia inicial era utilizar solos provenientes da região amazônica, mas devido a dificuldades de aquisição deste material no início do trabalho, foi realizada uma pesquisa em mapas pedológicos do Rio de Janeiro onde foram selecionados perfis de latossolos que apresentassem características similares às encontradas nos solos da Região Amazônica. Após pesquisa de campo optou-se pelo latossolo localizado em Duque de Caxias, RJ (figura 2), de onde foram coletadas amostras deformadas do horizonte B. Objetivando inserir materiais fundentes (particularmente K_2O) coletou-se um solo residual jovem proveniente da alteração de um biotita gnaiss, (figura 2) obtido em Jacarepaguá, RJ. A mica, encontrada neste solo, é fonte de potássio observada na sua composição química, que exerce uma função fundente e melhorando a qualidade do material, favorece a densificação, com a formação de fase líquida. Como material ligante e com alta plasticidade para a produção dos agregados buscou-se um gleissolo localizado em Santa Cruz, RJ(figura 3). Posteriormente foram adquiridas amostras de um latossolo proveniente de Carajás, PA, (figura 3) junto ao projeto LATAM do departamento de geologia da UFRJ.



Figura 2 Fotos representativas dos perfis do latossolo de Caxias, RJ. e solo residual jovem, RJ. respectivamente.



Figura 3 Fotos representativas dos perfis do latossolo de Pará. e Gleissolo, RJ. respectivamente.

2.2 Procedimentos laboratoriais

Depois da coleta, os solos foram secos ao ar, destorroados e misturados em diferentes proporções em massa: 100% latossolo Caxias; 80% latossolo Caxias : 20% solo residual Jovem; 60% latossolo Caxias: 40% solo residual jovem; 40% latossolo Caxias : 60% solo residual jovem; 50% latossolo Caxias : 50% gleissolo e 100% gleissolo. As misturas que incluem o latossolo Pará foram realizadas posteriormente, pois a sua aquisição junto ao projeto LATAM ocorreu com a pesquisa já em andamento. Com este solo foram realizadas misturas nas seguintes proporções: latossolo Pará 100%; 60% latossolo Pará : 40% gleissolo; 50% latossolo Pará : 50% gleissolo e 40% latossolo Pará : 60% gleissolo.

Os solos foram homogeneizados manualmente, conforme a Figura 4, e as misturas 80% latossolo Caxias : 20% solo residual Jovem; 60% latossolo Caxias : 40% solo residual jovem; 40% latossolo Caxias : 60% solo residual jovem foram homogeneizadas num moinho de bolas (Paviteste) com 30 rpm durante 2 minutos,(figura 5)

Depois de homogeneizadas, as amostras foram caracterizadas quanto aos índices físicos (granulometria, limites de liquidez, de plasticidade e índice de plasticidade) e mineralogia (DRX).



Figura 4 Mistura manual dos solos. Nesta foto mistura de 50%LA x 50%G (fotografia do autor)

Legenda: LA=Latossolo Pará; G=Gleissolo



Figura 5 Moinho de bolas (fotografia do autor)

2.2.1 Granulometria e diagrama de Winkler

A determinação granulométrica foi realizada de acordo com a norma, NBR-7181 (ABNT 1984). Esta norma prescreve o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento.

A análise da granulometria dos solos e das misturas foi realizada para classificar o material de acordo com o diagrama de Winkler (PRACIDELLI & MELCHIADES, 1997) que é um diagrama triangular, onde cada vértice é representado por frações granulométricas:

menor do que 2 μ m, entre 2 e 20 μ m e maior do que 20 μ m. O diagrama possui quatro campos: A, B, C e D (figura 6), que representam intervalos de composições granulométricas mais apropriadas de uso para o solo na industria cerâmica. A área B é a mais indicada para a produção de agregado de argila calcinada seguida das regiões A, C e D respectivamente (CABRAL, 2005). As argilas que são locadas no campo A podem produzir agregados de argilas calcinadas de boa qualidade, mas é exigido um maior controle da produção, principalmente com a temperatura de queima. As locadas na área B, mais indicada, são encontradas com maior facilidade e seu manuseio é mais fácil, usado para produção de telhas. As regiões C e D também podem produzir agregados calcinados, porem é necessário queimar a argila em temperaturas maiores, o que eleva o custo da produção.

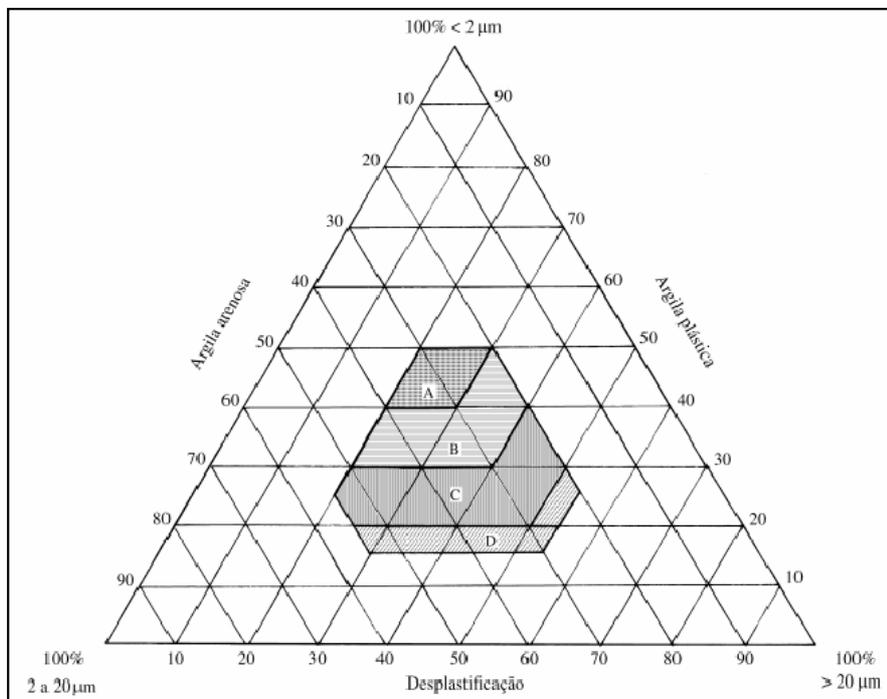


Figura 6 Diagrama de Winkler (Pracidelli e Melchades, 1997 apud Cabral 2005).

2.2.2 Limites de Atterberg

Os teores de umidade limites entre os estados de consistência são chamados de Limites de Consistência ou de Atterberg e se baseiam no fato de que um solo pode existir em qualquer um dos quatro estágios de plasticidade dependendo da quantidade de água que nele estiver presente. Os limites recebem as seguintes denominações: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e limite de contração (LC) – este último não foi determinado.

Também foi determinada a faixa de umidade na qual o solo se comporta plasticamente, através do índice de plasticidade (IP).

2.2.2.1 Limite de liquidez

A determinação do limite de liquidez (LL) foi executada segundo Norma NBR-6459, (ABNT 1984) que representam o teor de umidade limite entre os estados plástico e líquido do solo.

2.2.2.2 Limite de plasticidade

O limite de plasticidade (LP) foi feito de acordo com a norma ABNT NBR-7180, (1984), que representam o teor de umidade limite entre os estados semi-sólido e plástico.

2.2.2.3 Índice de plasticidade

A diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, portanto a faixa de umidade na qual o solo se comporta plasticamente, é denominada de índice de plasticidade. Este índice é calculado através da expressão 1:

$$IP = LL - LP$$

Onde: IP – índice de plasticidade;

LL – limite de liquidez;

LP – limite de plasticidade.

Quanto maior o IP, maior é a faixa de umidade em que o solo apresenta comportamento plástico. Quando o material não apresenta plasticidade (pedregulhos e areias), considera-se IP nulo e escreve-se IP = NP (não plástico).

Para que o solo ou as misturas tenham um bom aproveitamento é necessário que o valor referente ao índice de plasticidade, que é dado pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade seja superior a 15%. CABRAL,(2005).

2.2.3 – Análise mineralógica

A mineralogia da fração argila dos solos e misturas foi determinada pelo método da Difração de raios X.

Para a retirada da fração argila adotou-se o método da EMBRAPA-CNPS (1997). Depois de realizada a separação da fração argila foram confeccionadas as laminas orientadas pelo método do esfregaço (Theisen & Harvard, 1962). Após este procedimento, os materiais foram submetidos ao difratômetro Rigaku – Termoflex (figura 7) velocidade de 1º/min, ddp de 40kV e corrente de 30mA. Em seguida as laminas foram submetidas a uma atmosfera saturada de etilenoglicol por 4 horas para determinar os minerais expansivos. Depois as lâminas foram aquecidas a temperaturas de 500°C na mufla Quimis para a identificação de possível colapso e/ou destruição da estrutura dos argilominerais.

Para a interpretação destas lâminas usaram-se posições angulares, representadas por picos. Os valores angulares são convertidos, em graus de 2θ para espaçamento interplanar

(d em Å), através das tabelas com resoluções diretas da Lei de Bragg (Formoso, 1984 apud Santos 2005).

Os minerais são identificados de acordo com o valor (d) correspondente ao pico de maior intensidade, onde são comparados com tabelas específicas com os valores (d) correspondentes a cada mineral.



Figura 7 Difratorômetro Rigaku – Termoflex (Santos, 2005)

2.2.3 Preparação dos corpos de prova

2.2.3.1 Moldagem e queima dos corpos de prova

Depois de realizada a caracterização física, as amostras foram preparadas para o processo de obtenção de agregados a partir da queima das misturas e dos solos puros. Os solos primeiramente foram umedecidos com LL/2 + 2% de água, teor sugerido por ALEXANDRE, (1997) para produção de cerâmica vermelha. Já umedecidas, as amostras 100% latossolo

Caxias; 80% latossolo Caxias : 20% solo residual jovem e 60% latossolo Caxias : 40% residual, foram moldadas em extrusora a vácuo (Verdes) cedida pelo IME e UENF (figuras: 8). Já as demais amostras (50% Latossolo Caxias : 50% Gleissolo; 100% Latossolo Pará; 60% Latossolo Pará : 40% Geissolo; 50% Latossolo Pará : 50% Gleissolo; 40% latossolo Pará : 60% gleissolo e 100% Gleissolo) foram moldadas manualmente (figura 9) em fôrmas de 2,5 cm de altura x 3,0 cm de largura. A moldagem na extrusora faz com que o material fique mais compactado, porem não possível utilizar este método para todas as amostras.

A mistura 40% Latossolo Caxias : 60% solo residual não foi moldada devido ao elevado teor de fração areia encontrado.



Figura 8 Foto representativa da extrusora a vácuo do IME e da UENF. (fotografia do autor)



Figura 9 Foto representativa do molde sem solo e com solo no caso 100%LA (fotografia do autor)

As amostras foram queimadas em forno tipo mufla Quimis (figura 10) a 1000 °C. Esta temperatura foi estipulada, pois as principais transformações necessárias para corpos

cerâmicos, ocorrem até essa temperatura, de acordo com estudos realizados pela Divisão de Engenharia Mecânica do IPT-SP apud NASCIMENTO (2005), conforme segue:

- i. Até aproximadamente 200°C dá-se a eliminação da água livre (mesmo a que fica intercalada entre os argilo-minerais) e a eliminação da água proveniente de matéria orgânica;
- ii. Entre 350°C e 650°C a gibbissita perde a água de constituição e ocorre a combustão de substâncias orgânicas contidas na argila e a dissociação de compostos sulfurosos;
- iii. Entre 450°C e 650°C ocorre a decomposição das argilas, com liberação sob a forma de vapor, da água de constituição (quimicamente combinada ao argilomineral), nesta mesma faixa de temperatura a illita perde a água estrutural
- iv. Em temperaturas em torno de 570°C dá-se a rápida transformação de quartzo de sua forma cristalina alfa para beta, acompanhada de uma violenta expansão durante o aquecimento e de beta para alfa durante o resfriamento, acompanhado de fortes contrações;
- v. Em temperaturas em torno de 580°C ocorre a desidroxilação da caulinita e em 980°C se dá a nucleação de mulita;
- vi. Acima de 700°C, começam a se desenvolver reações químicas da sílica e da alumina com elementos fundentes, formando sílico-aluminatos complexos que dão à massa cerâmica característica como dureza, estabilidade, resistência mecânica, etc. Atinge-se assim o início da sinterização;
- vii. Entre 800°C e 950°C os carbonatos se decompõem e liberam CO₂;
- viii. Acima de 1000°C, os sílico-aluminatos que estão na forma vítrea começam a amolecer, dando ao corpo maior dureza, compacidade e impermeabilidade.



Figura 10 Foto do forno elétrico tipo mufla (fotografia do autor)

2.2.4 Determinação da porosidade aparente, absorção de água e massa específica aparente nos corpos de prova obtidos na calcinação

Os ensaios para a determinação da porosidade aparente, absorção de água e massa específica foram realizados de acordo com a norma da NBR-6220 (ABNT 1990).

Este ensaio consiste basicamente na obtenção da massa seca, massa saturada e a massa imersa dos corpos de prova, os valores de porosidade aparente, absorção de água e massa específica foram obtidos através das Equações:

$$V_A = \frac{(M_{SAT} - M_I)}{M_E}$$

$$M_{EA} = \frac{M_S}{V_A}$$

$$P_a = \left(\frac{M_{SAT} - M_S}{M_E \times V_A} \right) \cdot 100$$

$$A = \frac{(M_{SAT} - M_S)}{M_S} \cdot 100$$

Onde: M_s = massa seca

M_{sat} = massa saturada

M_E = massa específica da água ($1,0\text{g/cm}^3$)

M_{EA} = massa específica aparente seca

V_A = volume aparente

P_a = porosidade aparente (%)

A = índice de absorção (%)

2.2.5 Resistência à compressão Puntiforme

O ensaio de Resistência à Compressão Puntiforme foi realizado de acordo com método proposto pela ISRM (1981) e desenvolvido por Broch e Franklin (1972). No ensaio, o corpo de prova é carregado pontualmente através de dois cones metálicos com o auxílio de um macaco hidráulico (figura 11). A ruptura é provocada pelo desenvolvimento de fraturas de tração paralelas ao eixo de carregamento.

A resistência à compressão puntiforme, padronizada para corpos de prova de 50mm de diâmetro (IS_{50}), pode ser correlacionada à compressão uniaxial (ISRM, 1981). Para obter este valor é necessário calcular o valor do índice de resistência à compressão puntiforme (IS) e multiplicar por um fator de correção (FC), que é função da relação entre o diâmetro da amostra e o diâmetro padronizado (50 mm).

O ensaio consiste na pressão pontual aplicada por dois cones metálicos nos corpos de prova até a ruptura da amostra. O manômetro registra a pressão em que o corpo de prova rompe. A leitura manométrica não fornece a carga diretamente, ou seja, faz-se necessária uma curva de calibração entre a pressão manométrica lida e a força aplicada na amostra

O manômetro foi calibrado em dois ciclos de pressão ascendente (compressão) e descendente (descompressão). A curva de calibração é dada pela pressão que é lida

diretamente no manômetro (Kgf/cm²) pela força (KN) medida pela célula de carga acoplada ao equipamento para a realização da calibração.



Figura 11 Foto do equipamento de compressão puntiforme. A esquerda o macaco hidráulico com o manômetro acoplado e a direita foto dos cones metálicos (fotografia do autor).

Para efeito de comparação serão apresentados alguns resultados do índice Is (50) de rochas (leptinitos) com diversos graus de alteração, Barroso (1993).

O valor de IS é calculado pela equação:

$$IS = \frac{P}{d^2}$$

Tabela 1: Valores bases do Is(50) em rochas com diferentes graus de alteração. Barroso (1993) (Legenda: I-rocha sã; II-rocha levemente intemperizada; III-rocha moderadamente intemperizada).

ESTÁGIOS DE ALTERAÇÃO	IS ₅₀ PERPENDICULAR		IS ₅₀ PARALELA		COEF. ANISOTROPIA I _{A50}
	Média (Mpa)	Co.V (%)	Média (Mpa)	Co.V (%)	
I	2,56	21,6	1,68	36,9	1,52
II	1,89	37,0	1,18	26,1	1,62
III	0,56	61,5	0,48	38,5	1,17

3 RESULTADOS

3.1 Granulometria

Os resultados dos ensaios de granulometria realizados nos solos e nas misturas podem ser vistos na tabela (2):

Tabela 2: Resultados da análise granulométrica, Onde: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo pará; SR = solo residual; G = gleissolo

AMOSTRA	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Media (%)	Areia Grossa (%)	Pedregulho (%)	Σ areia (%)
100% LC	59	4	13	21	2	0	36
80%LC X 20% SR	46	11,1	7,4	17	18,5	0	42,9
60%LC X 40% SR	29,4	7,7	10,7	25,3	24,8	2,1	60,8
40% LC X 60% SR	24,4	8,5	11	25,2	27,9	3	64,1
50% LC X 50% G	61	19	8	12	0	0	20
100 % LA	44	26	24	4	2	0	30
60% LA X 40% G	66	27	4	2	1	0	7
50% LA X 50% G	72	17	9	2	0	0	11
40% LA X 60% G	69	26	3	2	0	0	5
100%G	70	18	9	3	0	0	12

Nas Figuras 12, 13, 14, 15,, 16, 17, 18, 19,20 apresentam-se as curvas granulométricas dos solos e misturas de solos.

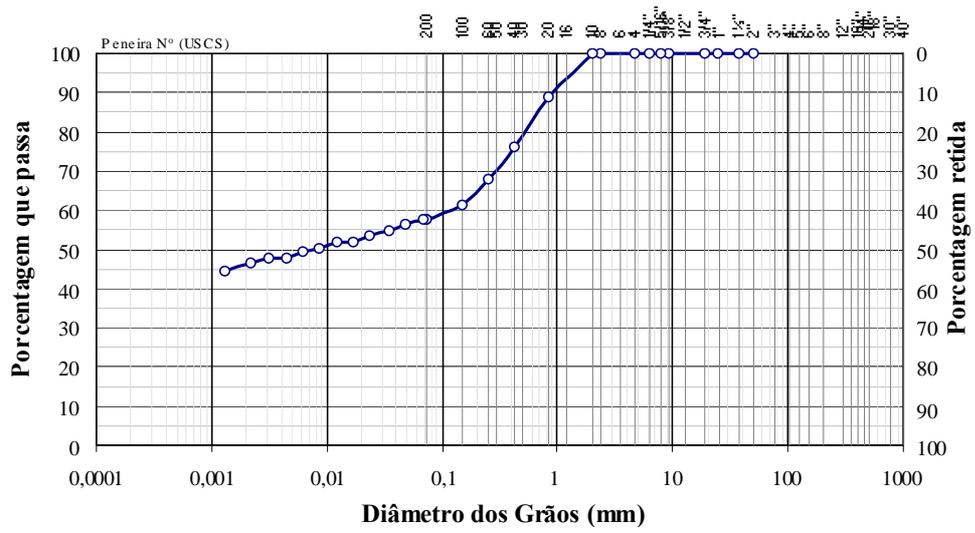


Figura 12 Curva granulométrica da mistura 80%LC : 20%SR

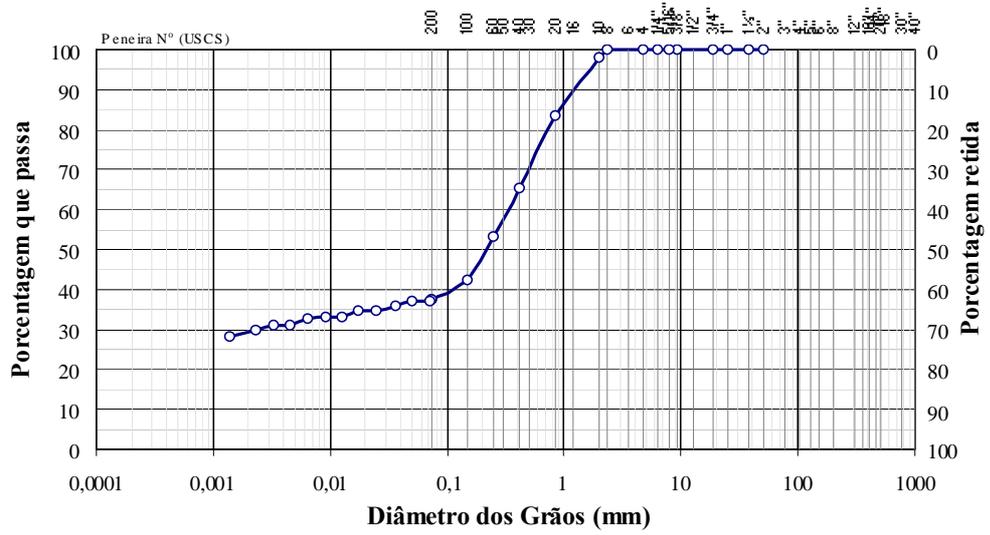


Figura 13 Curva granulométrica da mistura 60%LC : 40% SR

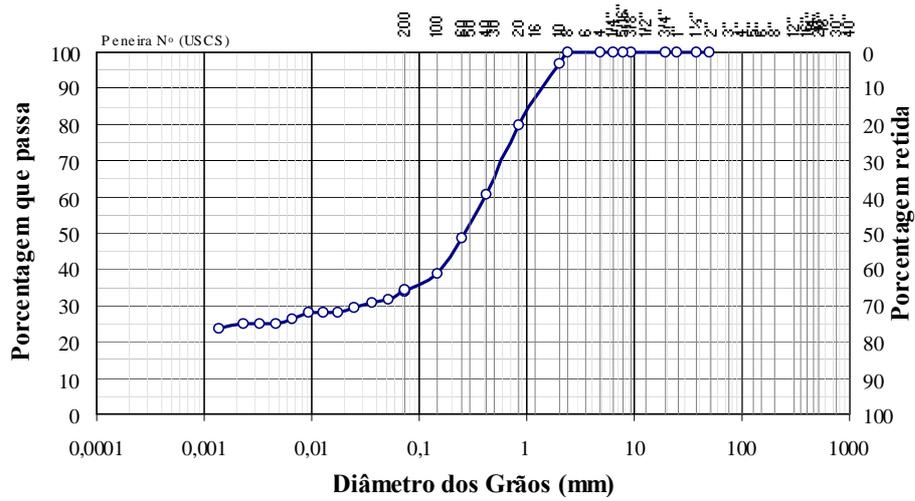


Figura 14 Curva granulométrica da mistura 40% LC : 60% SR

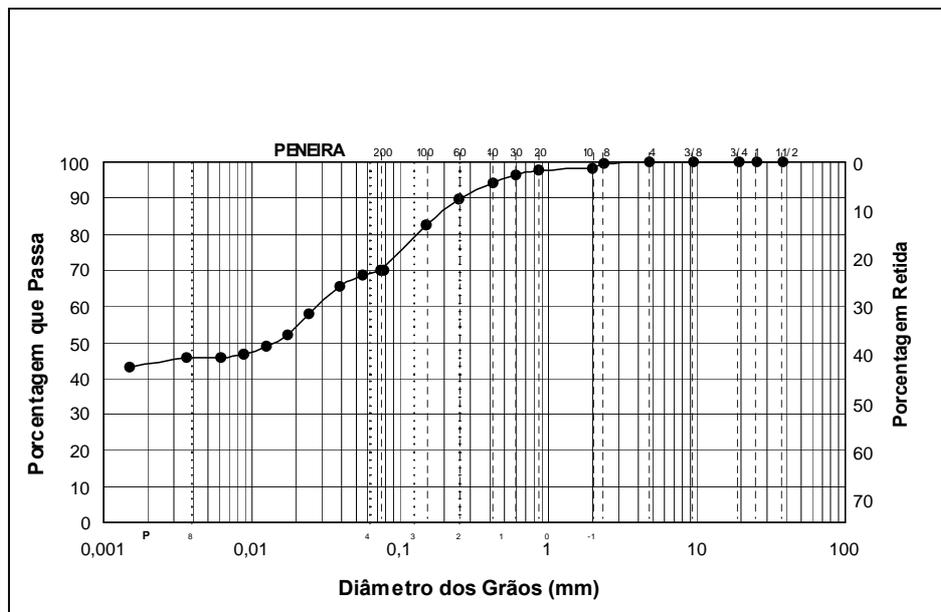


Figura 15 Curva granulométrica 100 % LA

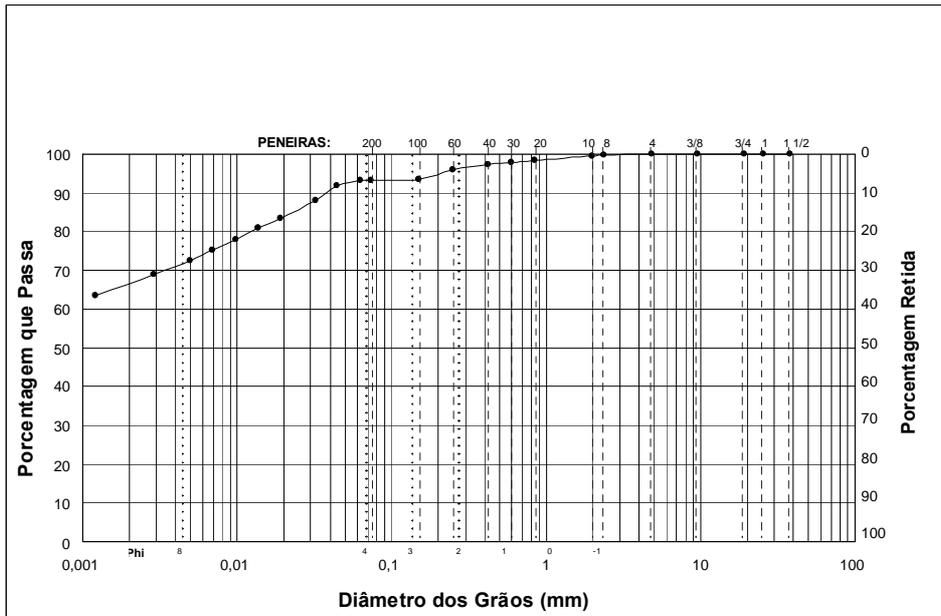


Figura 16 Curva granulométrica da mistura 60% LA : 40% G

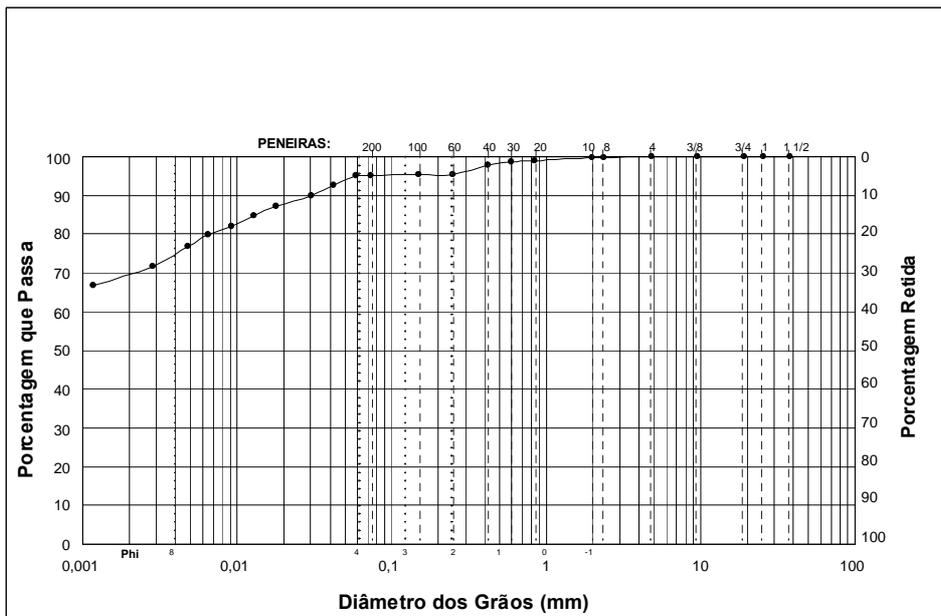


Figura 17 Curva granulométrica da mistura 40% LA : 60% G

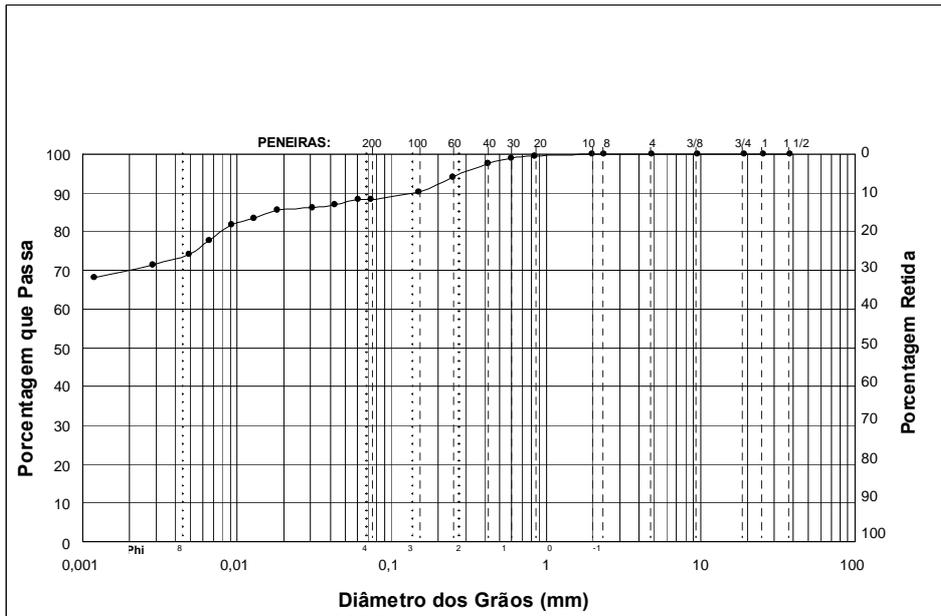


Figura 18 Curva granulométrica 100%G

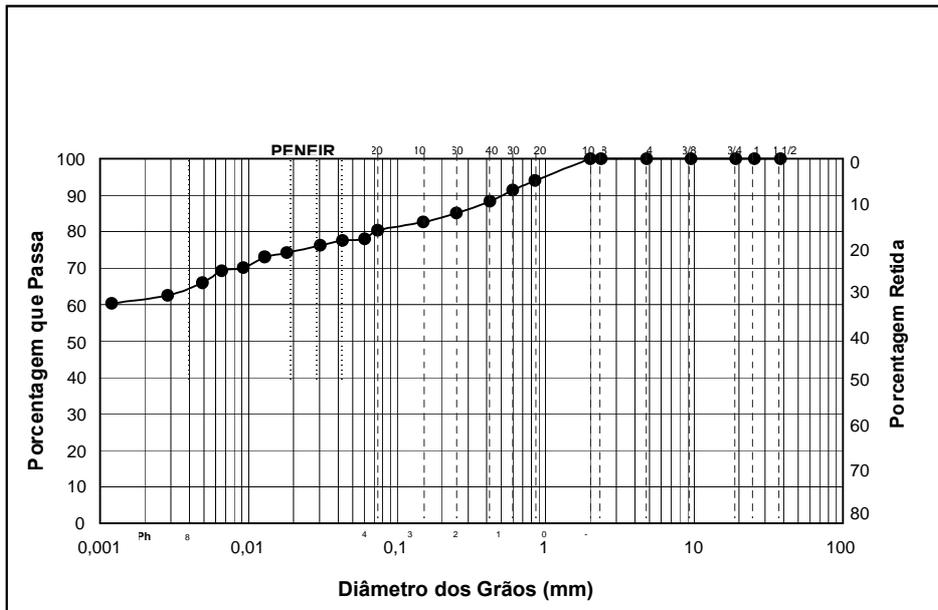


Figura 19 Curva granulométrica da mistura 50%LC : 50%G

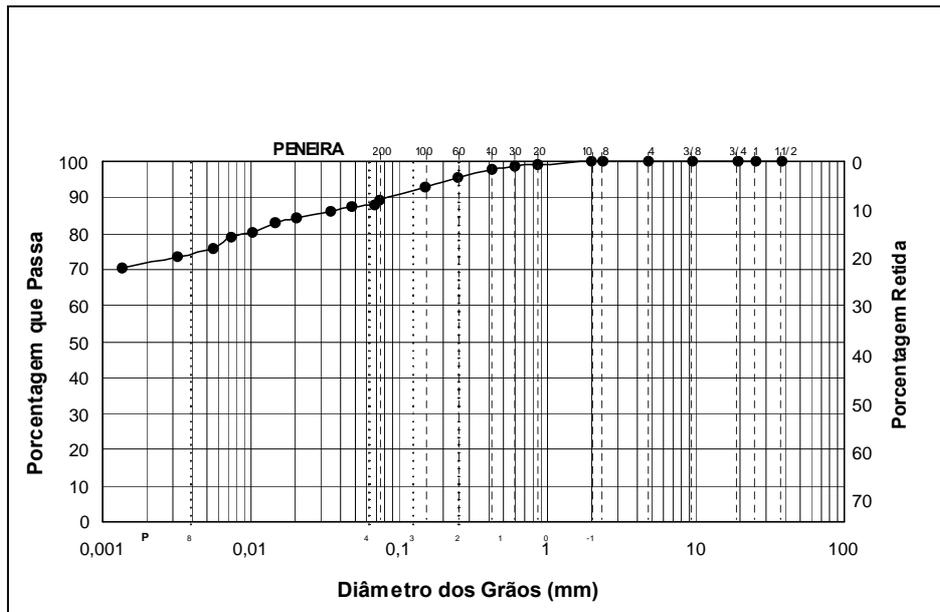


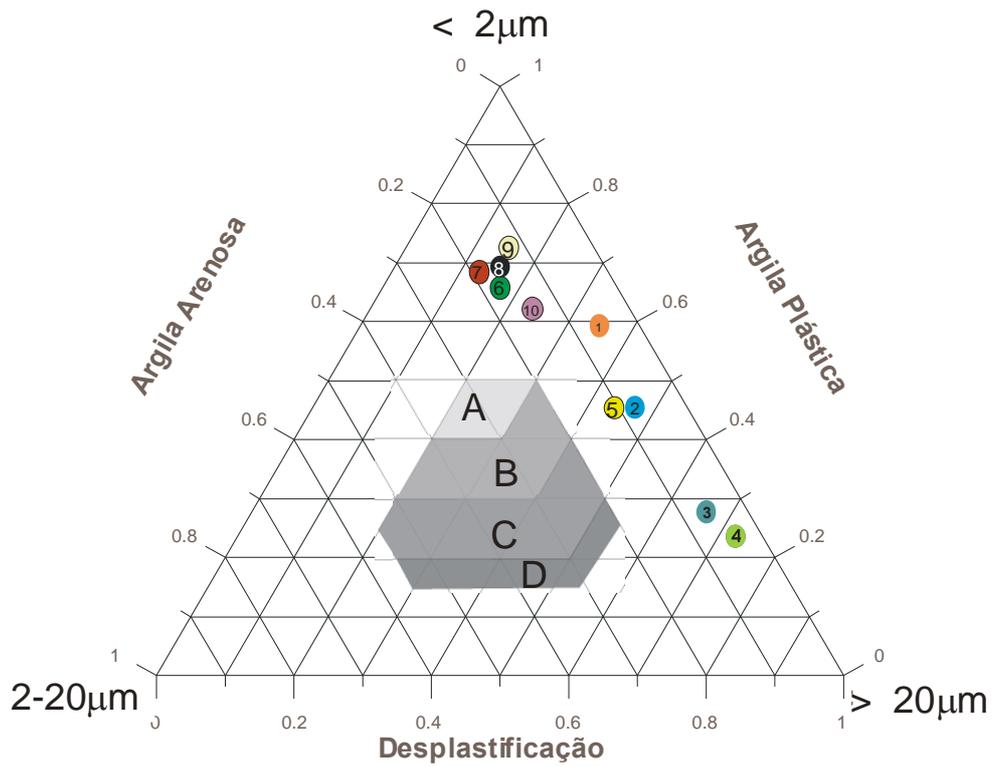
Figura 20 Curva granulométrica da mistura 50%LA : 50%G

3.1.1 Diagrama de Winkler

Os valores das frações (<2 μ m; entre 2 μ m e 20 μ m, e >20 μ m) obtidos nos ensaios de granulometria (Tabela 3) foram locados no diagrama de Winkler (Figura: 21).

Tabela 3: Valores em micrometro referentes a granulometria dos solos e misturas. Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo pará; SR = solo residual; G = gleissolo

AMOSTRA	<2 μ m	>2 μ m<20 μ m	>20 μ m
100% LC	59	8	32
80%LC : 20% SR	46	8	46
60%LC : 40% SR	29	6	65
40% LC : 60% SR	24	4	72
50% LC : 50 %G	61	14	25
100 % LA	44	10	46
60% LA : 40% G	66	17	17
50% LA : 50 %G	72	13	15
40% LA : 60 %G	69	19	11
100%G	70	16	14



- | | | | | | |
|---|---------------|---|--------------|----|---------------|
| 1 | 100% LC | 5 | 100% LA | 9 | 50% LA x 50%G |
| 2 | 80%LC x 20%SR | 6 | 60%LA x 40%G | 10 | 50%LC x 50%G |
| 3 | 60%LC x 40%SR | 7 | 40%LA x 60%G | | |
| 4 | 40%LC x 60%SR | 8 | 100% G | | |

Figura 21 Diagrama de Winkler. Com as misturas e solos plotados, Onde: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo Pará; SR = solo residual; G = gleissolo

Pode-se observar na figura 21 que existem dois grupos bem distintos: o primeiro com uma granulometria rica na fração menor que 2µm e o segundo com granulometria preferencialmente maior que 20µm. Os dois grupos não possuem solos ou misturas com intervalos de composição granulométrica que possam ser plotadas no campo B do diagrama

3.2 Limites de Atterberg

Os ensaios para determinação do limite de liquidez (LL) e limite plasticidade (LP) foram realizados de acordo com a norma ME122 (DNER 1994) e ME082 (DNER 1994), respectivamente e seus resultados encontram-se na Tabela (4).

As amostras que possuem o índice de plasticidade (IP) superior a 15% são consideradas satisfatórias para uso como argila calcinada, segundo CABRAL (2005).

Tabela 4: Resultados do limite de Atterberg, Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo Pará; SR = solo residual; G = gleissolo

AMOSTRAS	LL	LP	IP
100% LC	91,5	43,3	48,2
80%LC : 20 %SR	68,9	29,6	39,4
60%LC : 40% SR	46,7	24,5	22,2
40% LC : 60% SR	42,4	21,2	20,7
50% LC : 50 %G	76,0	47,4	28,6
100 % LA	54,0	45,4	8,5
60% LA : 40% G	66,0	55,1	10,9
50% LA : 50% G	66,0	44,3	21,7
40% LA ; 60 %G	67,0	40,0	27,0
100%G	72,0	42,7	29,3

Os resultados encontrados foram satisfatórios para uso como argila calcinada, de acordo com seus valores do índice de plasticidade, com exceção das amostras 100% latossolo Pará e 60 % latossolo Pará : 40 % gleissolo.

3.3 Mineralogia

Na Tabela 5 estão os resultados da análise da mineralogia das argilas, obtidas através da difração de raios X .

Tabela 5: Mineralogia da fração argila,

Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo pará; SR = solo residual; G = gleissolo

AMOSTRAS	ARGILOMINERAIS
100% LC	Caulinita, Gibbsita, Goethita
80% LC : 20 SR	Caulinita, Gibbsita, Goethita
60% LC : 40% SR	Caulinita, Gibbsita, Goethita
40% LC : 60% SR	Caulinita, Gibbsita, Goethita
50% LC : 50 G	Caulinita, Ilita
100 % LA	Caulinita, goethita, gibbsita
60% LA : 40% G	Caulinita, Ilita, Esmectita
50% LA : 50 G	Caulinita, Ilita, Esmectita
40% LA : 60 G	Caulinita, Ilita, Esmectita
100% G	Caulinita, Ilita, Esmectita
100% SR	Caulinita, Ilita

Quanto à mineralogia a ilita é um argilo-mineral com característica sinterizante. Isto gera uma maior coesão das partículas aumentando a resistência dos corpos-de-prova e diminuindo o número de vazios conseqüentemente a porosidade e absorção.

3.4 Determinação da porosidade aparente, absorção de água, massa específica e resistência à compressão puntiforme

Os corpos de prova de cada mistura e dos solos foram submetidos à compressão puntiforme, também designado Point Load, utilizando manômetro com fundo de escala de 10 kgf/cm² (Wika) e 60 Kgf/cm² (Farmabras). Após o rompimento dos corpos de prova, foram determinados nos mesmos a porosidade aparente, absorção de água e massa específica. Os valores médios de cada material estudado encontram-se na Tabela 6:

Tabela 6: Valores médios de porosidade, absorção, massa específica, Is(50), Resistência a compressão e índice de plasticidade (IP), Sendo: LC = latossolo Caxias; LA = latossolo Pará; SR = solo residual; G = gleissolo

	Porosidade média (%)	Absorção média (%)	massa específica média (g/cm ³)	Is(50) MPa média	Resistência compressão (MPa)	IP
100% LC	46,0	33,31	1,39	0,10	1,5	48,2
80%LC : 20% SR	32,7	19,4	1,68	0,13	2,7	39,4
60%LC : 40% SR	39,5	25,43	1,55	0,21	4,7	22,2
100 % LA	50,1	32,87	1,53	0,43	10,0	8,5
50% LC : 50% G	39,1	24,67	1,58	0,94	20,9	28,6
50% LA : 50% G	31,7	16,76	1,89	1,06	23,6	21,7
40% LA : 60 %G	41,9	25,88	1,64	1,57	33,0	27,0
60% LA : 40% G	36,3	19,94	1,85	1,74	36,9	10,9
100%G	22,7	12,5	1,85	1,60	35,0	29,3

A seguir apresentam-se os gráficos da porosidade, absorção e massa específica nas figuras 22, 23, 24.

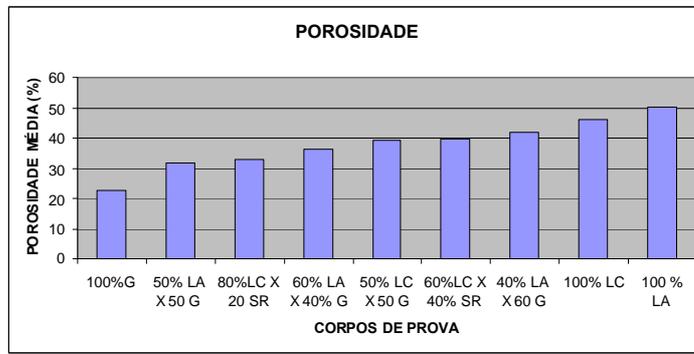


Figura 22 Gráfico com valores de porosidade aparente em %.

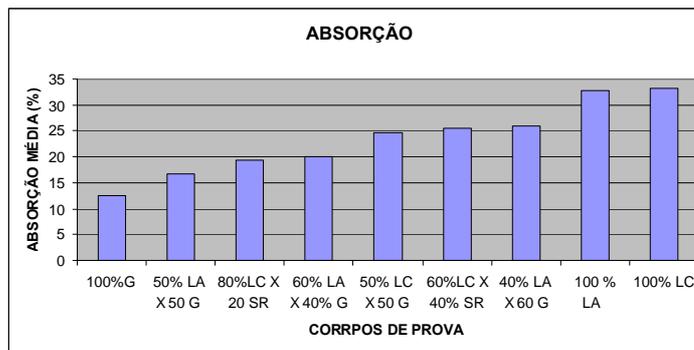


Figura 23 Gráfico com valores de absorção em %.

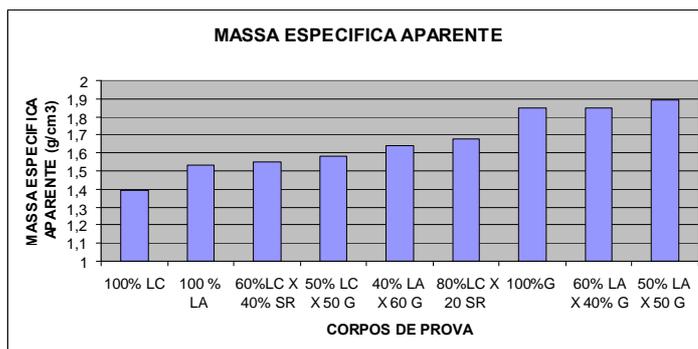


Figura 24 Gráfico com valores de massa específica aparente g/cm³

Com relação às porosidades e absorções, o gleissolo puro foi o que apresentou os menores valores de ambos os parâmetros (22,7% para a porosidade e 12,5 % para a absorção). Cabral (2005) cita o valor de 18% de absorção como valor satisfatório para agregado de argila calcinada para uso em pavimentação. Observa-se que a mistura 50% LA : 50% G apresentou o valor de 16,76% para a absorção, também dentro do limite mencionado. As misturas 80%LC : 20% SR e 60% LA : 40% G, apresentam valores de 19,4 e 19,94% de absorção, respectivamente, pode-se observar que estão próximos dos limites citados. As demais amostras apresentaram valores bastante afastados do limite utilizado neste trabalho.

Outro fator que pode ser destacado nos corpos de prova estudados é relação da diminuição da porosidade e absorção quando há um aumento da massa específica. Pode-se sugerir que essa relação se deve ao fato da diminuição dos volumes de vazios com as menores porosidades.

O ensaio de resistência à compressão puntiforme (IS₅₀) (figura 25) e os corpos de prova antes e após ao rompimento são visualizados na figura 26.

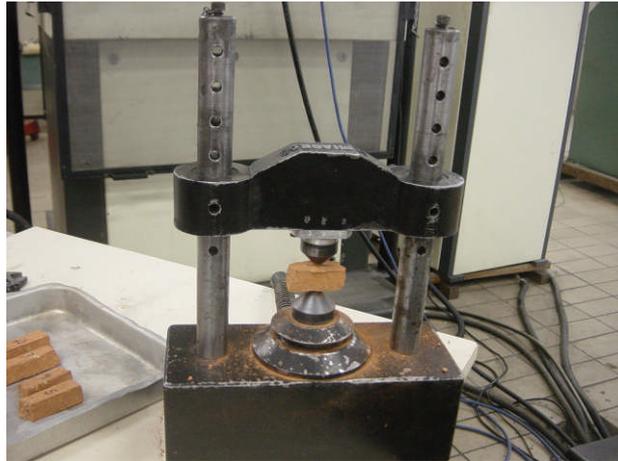


Figura 25 Foto ilustrativa do momento em que o corpo de prova é rompido, através da compressão puntiforme (fotografia do autor)

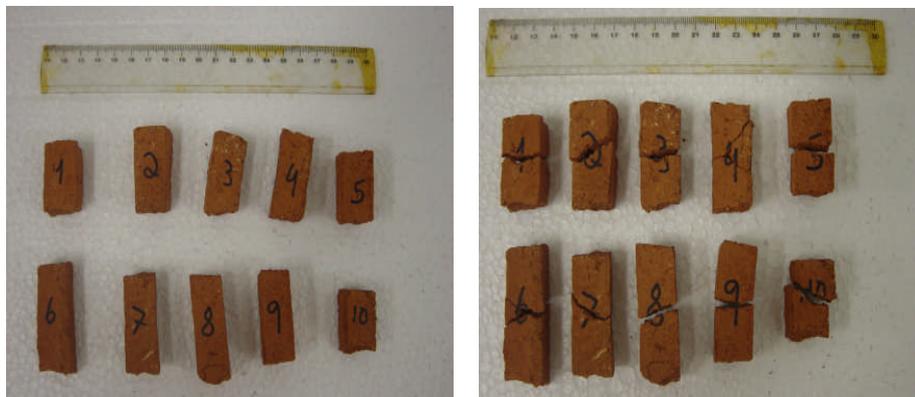


Figura 26 Foto do corpo de prova antes e depois de serem rompidos, respectivamente (fotografia do autor)

Os gráficos que representam a relação entre o ensaio puntiforme e as misturas podem ser visualizados na figura 26 e os que relacionam compressão simples e misturas são apresentados na figura 27.

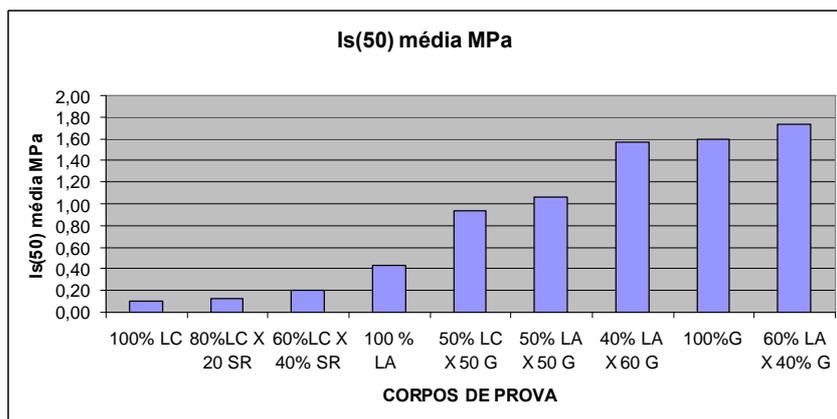


Figura 27 Gráfico com valores médios do índice IS_{50}

A análise do gráfico da figura 26 permite observar que a mistura que obteve o melhor resultado foi a de 60% latossolo do Pará com 40% de gleissolo ($IS_{50} = 1,74 \text{MPa}$). Verifica-se que os materiais provenientes das misturas com o latossolo do Pará e os gleissolos apresentaram os melhores resultados na compressão puntiforme entre os materiais analisados. Os corpos de prova realizados com as misturas que contêm o latossolo de Caxias, RJ, com o solo residual, RJ, apresentaram uma leve tendência de melhora do IS com o aumento da proporção do solo residual. Observa-se também que a adição de gleissolo melhora a qualidade dos corpos de prova obtidos dos latossolos, tanto do Pará quanto de Caxias, RJ. Estas melhoras ocorrem devido à presença de ilita presente no gleissolo estudado.

Quanto à análise do gráfico da figura 28 pode-se repetir os mesmos comentários pois esse índice é obtido a partir do IS multiplicado por um fator fixo.

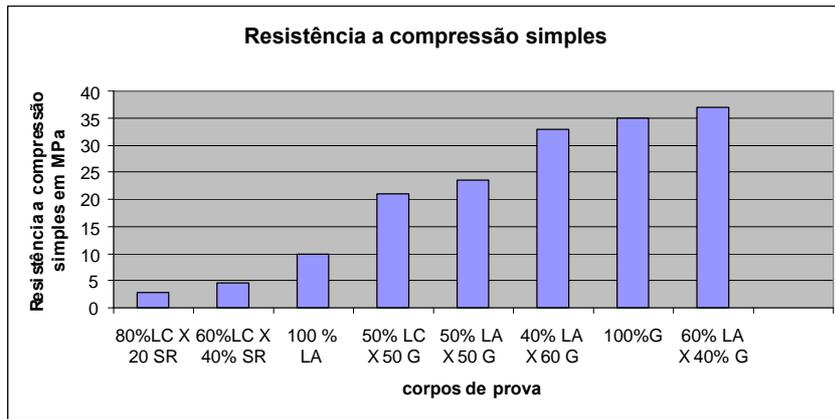


Figura 28 Gráfico com valores médios da resistência à compressão simples em MPa.

Para o melhor entendimento do comportamento dos solos e misturas foram construídos gráficos que correlacionam os valores de porosidade aparente e absorção de cada amostra com os valores dos índices de compressão puntiforme o IS_{50} . (figuras 29 e 30)

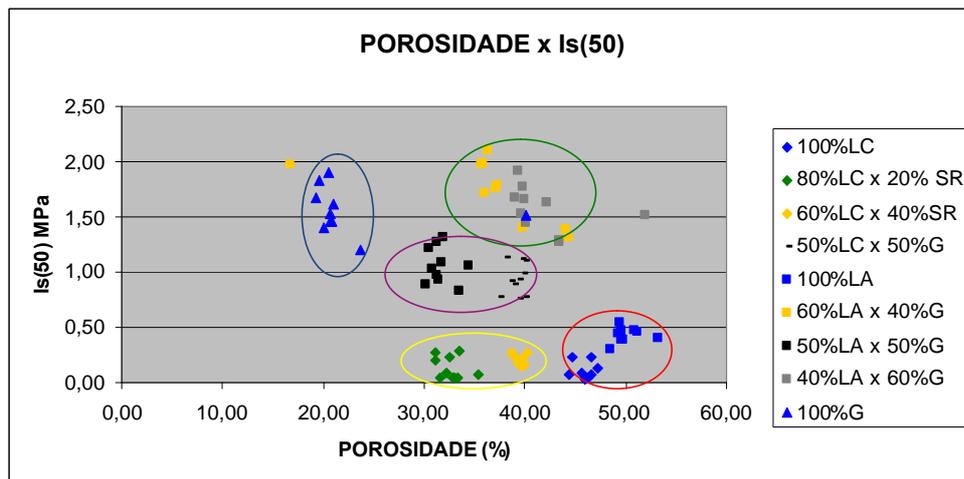


Figura 29 Gráfico com valores de porosidade aparente versus IS_{50} , de cada corpo de prova.

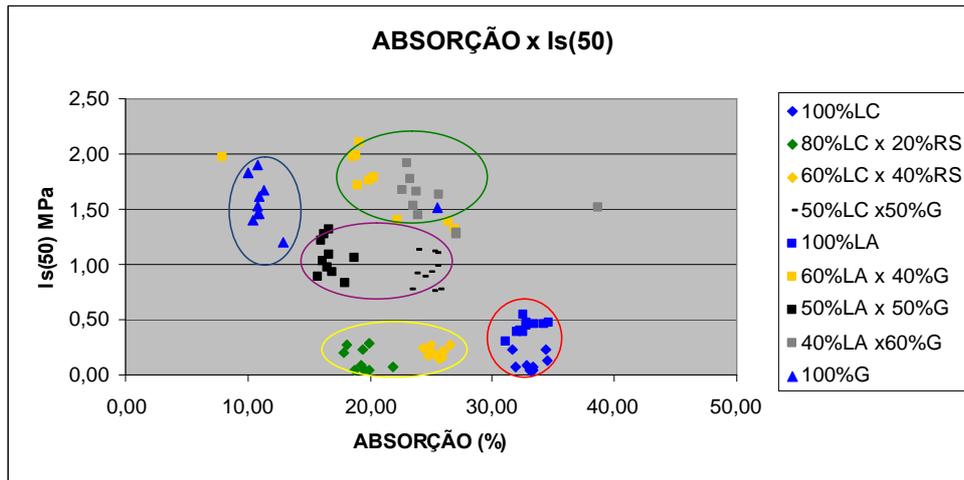


Figura 30 Gráfico com valores de absorção versus IS_{50} , de cada corpo de prova.

Com os resultados obtidos nas figuras 28 e 29, foi possível observar que os latossolos, Caxias e Pará, possuem comportamentos semelhantes quanto aos parâmetros de correlação entre a porosidade, absorção e o IS_{50} , campo representado pela elipse vermelho nas figuras 27 e 28.

A mistura 60%LC : 40%SR e 80%LC : 20%SR apresentam valores muito baixo de IS , no entanto verifica-se que o aumento da proporção de solo residual aumenta a porosidade. Este fato deve-se a diminuição da fração argila na mistura, como pode ser observado na tabela 1. Esse campo é representado pela elipse amarela nas figuras 28 e 29.

O campo representado pela elipse azul, figuras 28 e 29, refere-se ao gleissolo puro e verifica-se tratar-se do material que obteve resultados com menores valores de porosidade e absorção.

As misturas dos latossolos do Pará e de Caxias com 50% de gleissolo são representados pela elipse violeta nas figuras 28 e 29 e verifica-se que os latossolos do Pará apresentam os menores valores de porosidade e absorção, no entanto, os valores de IS_{50} são semelhantes.

As misturas do latossolo Pará com 60 e 40 % de gleissolo, são representado pelo círculo verde nas figuras 28 e 29. Observa-se que os valores médios de IS_{50} para ambas as misturas são semelhantes, no entanto, as misturas com 40% de gleissolo apresentam maiores valores de porosidade e absorção.

É importante ressaltar que a adição do gleissolo melhorou sensivelmente a resistência dos corpos de prova.

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O trabalho teve como objetivo investigar a possibilidade de produzir agregados graúdos a partir de argila calcinada para fins de pavimentação utilizando um latossolo-RJ, latossolo-PA, gleissolo-RJ, solo residual jovem de biotita gnaisse-RJ e misturas entre esses materiais em diferentes proporções. Estes solos e misturas usados in natura, como foram utilizado neste trabalho, não servem para uso como agregado graúdo em pavimentação.

Uma possível aplicabilidade para o material produzido é a utilização como material menos nobre, por exemplo, base e sub base da estrutura de pavimento. Onde o material é britado e não tem muita preocupação com a alta absorção do material

Os resultados encontrados nos materiais estudados não foram satisfatórios. Com relação ao diagrama de Winkler, nenhuma das amostras teve resultado satisfatório, todos os solos e misturas analisados encontram-se fora do campo B.

Com relação ao índice de plasticidade pode-se verificar que a maioria das misturas apresentaram IP satisfatórios para uso como argila calcinada, com exceção das amostras 100% latossolo Pará e 60 % latossolo Pará : 40 % gleissolo.

Quanto aos valores de porosidade aparente e absorção de água, grande parte dos materiais analisados não apresentaram resultados satisfatórios. Pode-se destacar os corpos de prova com 100% de gleissolo e 50% latossolo do Pará x 50% gleissolo como os que obtiveram os melhores resultados.

Com relação ao ensaio puntiforme pode-se verificar que os resultados são baixos, sendo comparadas com rochas classe II e III, classificadas respectivamente como rocha levemente intemperizada; rocha moderadamente intemperizada; rocha altamente intemperizada

Os latossolos tanto de Duque de Caxias quanto do Pará possuem comportamentos similares quanto aos parâmetros de correlação entre a porosidade aparente, absorção de água

e Is(50). A mudança de comportamento dos corpos de prova ocorreu com a adição do solo residual e do gleissolo. A incorporação do solo residual aumentou a porosidade e absorção de água. Justifica-se esse fato pela diminuição da fração argila com a adição do solo residual. A adição do gleissolo nas misturas gerou uma melhora nos valores de porosidade, absorção e Is(50), mas ainda insuficientes para serem aplicados na pavimentação.

Pode-se sugerir que a incorporação do solo residual jovem apresentou uma leve tendência de melhora dos valores de Is 50.

Para a tentativa de melhorar os resultados sugere-se para futuros trabalhos a obtenção de solos ou misturas com uma granulometria que seja equivalente aos valores granulométricos referentes ao campo B do diagrama de Winkler.

Também pode-se aumentar a temperatura de queima na tentativa de melhorar a qualidade do material.

Sugere-se também estudos com solos e misturas com matérias íliticos e fundentes, tais como potássio, cálcio e sódio.

Deve-se também realizar ensaio específicos tais como: resiliência, MCT, desgaste a abrasão, resistência a tração nos corpos de provas obtidos com materiais que apresente resultados satisfatório quanto a porosidade e absorção de água e enquadramento da granulometria no diagrama de Winkler.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990, NBR 6220, **Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e massa específica aparente da parte sólida de Materiais Refratários Densos**. Rio de Janeiro, RJ.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Solo – **Análise granulométrica**. (NBR - 7181).

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Solo – **Determinação do limite de liquidez**. (NBR - 6459).

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984. Solo – **Determinação do limite de plasticidade**. (NBR - 7180).

ALEXANDRE, J. **Caracterização das argilas do município de Campos dos Goytacazes para utilização em cerâmicas vermelhas**. 1997. Dissertação Mestrado – Universidade Estadual do Norte Fluminense - Campos dos Goytacazes (RJ), 1997.

BARROSO E.B. 1993 **Estudo das características geológicas e do comportamento geotécnico de um perfil de intemperismo em leptinito**. Instituto de Geociências – UFRJ, Tese de mestrado em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 2005.

BATISTA, F.G.S 2004. **Caracterização física e mecanística dos agregados de Argila Calcinada Produzidas com solos finos da BR-163/PA**. Dissertação de Mestrado IME.

BROCH, E. & FRANKLIN, J.A. 1972. **The point load strenght test**. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech Abstr. 9:669-697.

BROOKE L.; RUSS, B.V. **Bureau of Mines / Minerals yearbook** 1951 pp. 287-304

CABRAL, G.L.L. 2005. **Metodologia de produção e emprego de agregados de argila calcinada para pavimentação**. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de engenharia (IME).

CINEXPAN, disponível, www.cinexpan.com.br, capturado, 12/2007.

DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem, 1981, **Pesquisa de Viabilidade de Implantação da Fábrica de Argila Expandida na Região Amazônica**. Relatório Final, IPR/Divisão de Pesquisas, Rio de Janeiro, RJ.

EMBRAPA-CNPS 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FORMOSO, M. L. L. Difratometria de Raios X in : C. B. GOMES (Ed) **Técnicas analíticas instrumentais**. 1984. Ed. Edgard Blucher Ltda., p 1 – 43. Hot Mix Study – Final Report, Part1, 1969.

LEPSH, I. F. 2002. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de texto. São Paulo. 178p.

LOUISIANA DEPARTMENT OF HIGHWAYS, **Highway Research: Expanded Clay Hot Mix Study** – Final Report, Part1, 1969.

MOTTA, L. M. G. ; NASCIMENTO, Ricardo Ribeiro Do ; VIEIRA, Álvaro . **Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o Estado do Acre**. In: XIII Congresso Ibero-latinoamericano del Asfalto, 2005, São José. XIII CILA. São José : LANAME UCR, 2005. v. 2.

NASCIMENTO, R.R. 2005 **Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação; uma alternativa para o Estado do Acre**. Dissertação de Mestrado UFRJ, COPPE.

PETRUCCI, E.G. 1971. **Concreto de cimento Portland**. Porto Alegre : Globo. 277p

PRACIDELLI, Sebastião, MELCHIADES, Fábio G. **Importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha.** Cerâmica Industrial, v.2, n. 12, p. 31-35, Janeiro/Abril 1997.

SANTOS, L. V. 2005 **Estudo comparativo da sorção do cátion potássio (K⁺) e do ânion cloreto (Cl⁻) em solos tropicais.** 87p. il. Instituto de Geociências – UFRJ, Dissertação de Graduação em Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 2005.

SANTOS, S.1989. **Pérsio de ciência e tecnologia das argilas.** 2. ed. rev. atual. Volume 1. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 496 p. il.

TEXAS HIGHWAY DEPARTMENT – THD. **Use of lightweight aggregates.** Research Reports 51-1 to 51-4. Project 2-14-63-51, 1951.

THEISEN, A. A. & HARWARD, M. E. 1962. **A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by X-Ray diffraction.** Soil Science of American Proceedings, 26: 90-91.