



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL*

MARCOS VINICIUS MOREIRA ALVES

**AVALIAR A UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA
CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

PALMAS – TO

2019/2

MARCOS VINICIUS MOREIRA ALVES

**AVALIAR A UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA
CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof.^a. Dra. Jacqueline Henrique.

PALMAS – TO

2019/2

MARCOS VINICIUS MOREIRA ALVES

**AVALIAR A UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA
CONSTRUÇÃO DE UMA BARRAGEM DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Prof.^a. Dra.. Jacqueline Henrique.

Aprovado em: 21/11/2019

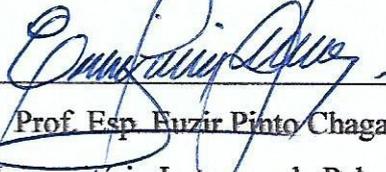
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dra. Jacqueline Henrique

Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEUP



Prof. Esp. Fuzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEUP



Prof.^a. Msc Kenia Parente Mendonça

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEUP

PALMAS – TO

2019

RESUMO

ALVES, Marcos Vinicius Moreira. **Avaliar a utilização do resíduo de construção civil na construção de uma barragem de resíduos agrícolas. 2019.** 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

O presente trabalho trata da utilização de Resíduos de Construção Civil para a construção de uma lagoa de resíduos agrícolas, conforme a Resolução n. 307/2002 do CONAMA que libera a implementação do RCC para a redução do impacto ambiental junto com a Lei n. 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) que prevê o gerenciamento de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos. Considerando que a construção civil é um dos maiores geradores de resíduos sólidos e que a perda desses materiais são em grandes valores, este projeto tem como objetivo geral analisar o solo de sub-base de pavimentação da crista e talude do reservatório, avaliar o RCC, bem como constar sua eficiência para meios de reaproveitamento de entulhos gerados na parte de agregados, além dos objetivos específicos em identificar as características químicas da amostra de RCC coletadas em obras de Palmas – TO e mensurar a redução do impacto que o material utilizado evitou causar ao meio ambiente. Desse modo, através do método exploratório e estudo de caso, foi coletada a amostra para o comparativo dos resultados.

Palavras-chave: Resíduos de Construção Civil. Lagoa. Redução do Impacto Ambiental. Análise do Solo.

ABSTRACT

ALVES, Marcos Vinicius Moreira. **Assessing the use of civil construction waste in construction of an agricultural waste dam. 2019.** 60f. Course Conclusion Paper (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2019.

The present work deals with the use of Construction Waste for the construction of an agricultural waste lagoon, according to Resolution no. 307/2002 of CONAMA that releases the implementation of the RCC for the reduction of the environmental impact along with Law no. 12.305 / 2010 (National Solid Waste Policy) which provides for the management of reduction, reuse and recycling of solid waste. Considering that civil construction is one of the largest solid waste generators and that the loss of these materials is in large values, this project has as its general objective to analyze the subfloor paving crest soil and reservoir slope to evaluate the RCC, as well as how to show its efficiency for reuse generated in aggregates, besides the specific objectives to identify the chemical characteristics of the RCC sample collected in Palmas - TO works and to measure the reduction of the impact that the material used avoided to cause environment. Thus, through the exploratory method and case study, the sample was collected to compare the results.

Keywords: Construction Waste. Lagoon. Reduction of Environmental Impact. Soil Analysis.

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARC – Agregados de Resíduos de Concreto

ARM – Agregados de Resíduos Mistos

ATTs – Áreas de Transtornos e Triagens

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

NBR – Norma Brasileira

RCC – Resíduos de Construção Civil

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frequência de realização de ensaios técnicos nos produtos.....	17
Figura 2 - Principais causas de dificuldades na venda de agregados reciclados.....	18
Figura 3- Local da construção da lagoa de resíduos.....	23
Figura 4 - Croqui da construção da represa para dejetos agrícolas.....	23
Figura 5 – Moldes cilíndricos metálicos	24
Figura 6 - Preparando para a Compactação.....	26
Figura 7 - Prensa que rompeu o CBR.....	26
Figura 8 - Peneira n. 4 (4,8mm).....	27
Figura 9 - Ensaio granulométrica.....	29
Figura 10 - Sistema unificado de classificação de solos.....	41
Figura 11 - Análise do solo – granulométrica – NBR – 7181.....	42
Figura 12 - Solo 10% RCC –Análise Granulométrica – NBR – 7181.....	43
Figura 13: Solo 20% RCC – análise Granulométrica – NBR 7181.....	44
Figura 14 - Solo natural – compactação NBR 7182.....	46
Figura 15 - 10% RCC – compactação – NBR 7182.....	47
Figura 16 - 15% RCC – compactação – NBR 7182.....	48
Figura 17 - Solo Arenoso 20% RCC – Compactação – NBR 7182.....	49
Figura 18 - Características do solo.....	50
Figura 19 - Ensaio compressão com 10% de RCC e 3% de cimento.....	51
Figura 20 - Ensaio compressão com 15% de RCC e 5% de cimento.....	52
Figura 21 - Ensaio compressão com 20% de RCC e 7% de cimento.....	53
Figura 22 - Índice de Suporte Califórnia solo natural.....	54
Figura 23 - Índice de Suporte Califórnia 10% RCC e 7% cimento.....	55
Figura 24 - Índice de Suporte Califórnia 20% RCC e 7% cimento.....	56
Figura 25 - Índice de Suporte Califórnia 15% RCC e 5% cimento.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - ABNT NBR 15115:2004 – item 6.1 Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação.....	16
Tabela 2 - Item 6.2 NBR 15115:2004 - Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação.....	17
Tabela 3 - Principais publicações sobre agregados reciclados.....	21
Tabela 4 - Procedimento após peneiramento.....	27
Tabela 5 - Quantidade de amostra a ser tomada.....	28
Tabela 6 - Determinação do peso da amostra seca ao ar.....	28
Tabela 7 - Energias de compactação.....	31
Tabela 8 - Procedimento após peneiramento.....	35
Tabela 9 - Intervalos granulométricos e massa mínima de amostra para ensaio.....	37
Tabela 10 - Peneiras para a remoção das partículas de argila e materiais friáveis.....	38
Tabela 11: Frações granulométricas de acordo com as peneiras intermediárias.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS: UTILIZAÇÃO DO RCC	13
2.2 OS AGREGADOS	19
2.3 USO DE AGREGADOS DO RCC	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
4. RESULTADOS E DISCURSÕES	41
4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	41
4.1.1 Análise granulométricas do solo natural	42
4.1.2 Solo natural (10% de RCC).....	43
4.1.3 Solo natural (20% de RCC).....	44
4.2 COMPACTAÇÃO	45
4.2.1 Solo natural com adição de 10% de RCC.	47
4.2.2 Solo natural com adição de 15% de RCC	48
4.2.3 Solo natural com adição de 20% de RCC.	49
4.3 COMPRESSÃO DO SOLO COM A ADIÇÃO DE RCC.	50
Figura 19: Ensaio compressão com 10% de RCC e 3% de cimento.	51
Figura 20: Ensaio compressão com 15% de RCC e 5% de cimento.	52
Figura 21: Ensaio compressão com 20% de RCC e 7% de cimento.	53
4.4 CBR DO SOLO NATURAL COM ADIÇÃO DE RCC E TEOR DE CIMENTO	54
Figura 22: Índice de Suporte Califórnia solo natural.	54
Figura 23: Índice de Suporte Califórnia 10% RCC e 3% cimento.....	55
Figura 24: Índice de Suporte Califórnia 15% RCC e 5% cimento.....	56
Figura 25: Índice de Suporte Califórnia 20% RCC e 7% cimento.....	57
5. CONCLUSÃO.....	58
6. REFERÊNCIAS.....	59

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores que mais geram resíduos sólidos, e por vezes, estes não recebem destinação adequada, sendo despejados em aterros sanitários, vias públicas, encostas, áreas de risco, e outras áreas irregulares.

Nesse passo, a Resolução n. 307 de 05 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre a implementação de diretrizes para a Redução do impacto dos Resíduos da Construção Civil (RCC) determinando critérios e procedimentos para a gestão dos mesmos.

No Estado do Tocantins há pouco incentivo das construtoras para a correta destinação de descartes, bem como do Poder Público em oferecer locais apropriados para o gerenciamento (redução, reutilização e reciclagem) de todas as etapas previstas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n. 12.305/2010.

Em média as perdas de materiais chegam a porcentagens maiores do que o consumo ideal, gerando sérios desperdícios seja pelo extravio, incorporação de materiais à edificação e entulhos. Por seu turno, esses geradores são responsáveis não somente pelos reparos contínuos das atividades na construção civil, mas também, em tudo que possa prejudicar o meio ambiente.

Nesse pressuposto, buscou-se neste trabalho avaliar a eficiência do uso do RCC como agregado graúdo para construção de um reservatório de resíduos agrícolas, tendo com foco a sua viabilidade ao ser aplicada na crista do barramento da lagoa, garantindo a segurança no momento dos esforços e servindo também como sub-base para a pavimentação de circulação de veículos sobre o reservatório.

O material de RCC possui eficiência de acordo com as normas vigentes para a utilização como sub-base de pavimentação na crista e talude de um reservatório para dejetos agrícolas? Através do estudo de caso buscou-se responder esta pergunta.

Este trabalho possui o objetivo geral em analisar o solo onde será a implantação da lagoa; caracterizando fisicamente o material do RCC a ser utilizado. E tem como objetivos específicos: identificar as características químicas da amostra de RCC coletadas em obras de Palmas - TO; fazer uma análise crítica da viabilidade de utilização desse resíduo como barragem para reservatório de resíduo agrícola e sub-base de pavimentação asfáltica da via de circulação na crista do reservatório.

A lagoa de retenção de resíduos agrícolas se localiza dentro da unidade da Dupont do Brasil S/A. na rodovia TO 040 Km 23 – zona rural na cidade de Porto Nacional - TO,

construída inteiramente com material proveniente de jazida licenciada, a qual teve uma movimentação de 72.049 m³ do material de primeira categoria.

Desse modo, em razão da necessidade de alcançar a sustentabilidade através do equilíbrio entre o consumo de recursos naturais e degradação ambiental, propõe-se por meio do descarte desses materiais uma avaliação de suas características e que seja utilizado em aterro em talude de reservatório que captará a água de dejetos agrícolas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A extração de matérias primas para o uso de materiais de construção civil tem se tornado uma preocupação para as empresas e ambientalistas. Visto que os recursos como rochas, areias, minerais, argilas e outros são finitos e que o consumo frenético alavancado pelo mercado imobiliário levaria a um colapso pela escassez de matéria prima, fez com que houvesse necessidade de buscar por meios alternativos para substituir esses elementos básicos.

Ao passo que as sobras de materiais desperdiçados pelo setor não tinham destinação adequada, a solução foi adotar meios de reaproveitamento de entulhos gerados como parte de agregados.

As pesquisas relacionadas ao reaproveitamento de resíduos de construção e demolição estão, em sua maioria, concentradas na produção de argamassas e concreto sendo pouco explorado as pesquisas científicas e acadêmicas voltadas ao uso desses materiais em pavimentações de baixo custo, como estradas vicinais ou de aterramento para reservatórios destinados à produção agrícola.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do uso do Resíduo da Construção Civil (RCC) como agregado graúdo para construção de um reservatório de resíduos agrícolas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar as características do solo do local onde será a implantação da lagoa;
- Caracterizar fisicamente o material do RCC a ser utilizado;
- Identificar as características da amostra de RCC coletadas em obras de Palmas - TO;
- Elaborar uma análise crítica da viabilidade de utilização desse resíduo como barragem para reservatório de resíduo agrícola e sub-base de pavimentação asfáltica da via de circulação na crista do reservatório.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS: UTILIZAÇÃO DO RCC

Os Resíduos da Construção Civil são materiais utilizados por diversos segmentos da indústria, cujos empreendimentos têm como fato gerador o RCC, que possuem características específicas ao serem destinados em projetos de reaproveitamento de resíduos sólidos.

Segundo a Resolução n. 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, o RCC são resíduos que fazem parte de construções, reparos, demolições, resultantes de escavações, madeiras, metais, gesso, plásticos e tudo aquilo que é proveniente da construção civil.

Partes desses resíduos representam baixa periculosidade, no entanto, se descartados de forma irregular podem causar um grande impacto no meio ambiente. A indústria brasileira tem como maior fato gerador as pequenas construções, os quais são representados pelas obras familiares. Pinto (1999) explica que nas cidades de médio e grande porte, os resíduos originados por construções e demolições representam de 40 a 70% de todos os sólidos, cujo destino incorreto traz prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

Conforme explana Neto (2009) a geração de RCC está relacionada a quatro fatores que fazem parte do dia a dia das obras: ausência de gestão de RCC nos canteiros de obras; mão de obra despreparada correlação ao gerenciamento dos resíduos; perdas e desperdícios de materiais em razão de projetos pouco otimizados e métodos ineficazes; e consumo excessivo de recursos naturais por superdimensionamento de serviços da construção.

Pinto (1999, apud Ferreira *et al.*, 2014, p.6) classifica os RCC's conforme sua origem, sendo:

- a) Resíduos oriundos de construções informais, considerando apenas aqueles provenientes de atividades construtivas tipo ampliações e reformas.
- b) Resíduos oriundos de construções formais, os quais são considerados os resíduos de construções novas.

Esses resíduos são gerados por inúmeras atividades de forma anual pelas grandes construtoras, construções públicas e particulares. Ao terem o plano de gerenciamento, pode amenizar não somente o impacto ao meio ambiente, como também facilita o manejo e execução de projetos de reaproveitamento, mostrando-se ser uma estratégia viável e técnica para conduzi-lo no processo de reciclagem.

Para Martins (2012) os empreendimentos ao terem um bom planejamento seguido do gerenciamento e controle adequado da obra pressupõe a separação dos RCC na fonte, ou seja, triagem por tipos durante os processos construtivos. Estas separações correspondem a fatores essenciais para a viabilizar a implantação de práticas de reutilização e reciclagem proposto pela Resolução n. 307 do CONAMA.

O órgão consulente traz no art. 3º da Resolução n. 307/2002 alterado o inciso IV pela Resolução n. 348/2004 a seguinte classificação dos resíduos da construção civil:

I - Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II – Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;

III – Classe C – são os resíduos para que os quais não foram desenvolvidos tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

IV – Classe D- são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (CONAMA, 1996, p. 2-3).

Tais classificações contribuem para a triagem dos resíduos nos diversos locais em que são acondicionados em diferentes valorizações. Na visão de Cunha Júnior (2005) mesmo o beneficiamento do entulho e a reservação ambiental adequada dos RCC, é indispensável que façam a segregação por classes dos resíduos na origem, assim como da qualidade dos serviços de manejo prestados por agentes transportadores e operadores de áreas licenciadas para aterros, transbordos ou reciclagem.

Dessa maneira, o tipo de material utilizado para a elaboração deste projeto são os de Classe A, sendo subdividido como agregados de resíduos de concreto (ARC), compostos por uma fração mínima de 90% de fragmentos à base de cimento Portland e rochas e os agregados de resíduo misto (ARM) com compostos com fração menor que 90%.

Pela resolução n. 001/1986 do CONAMA, é considerado impacto ambiental qualquer alteração das características físicas, químicas ou biológicas da natureza que de algum modo possam afetar a vida biótica e social.

É evidente que todos esses materiais ao serem despejados na natureza geram transtornos à sociedade, ao passo que também ocasionam cada vez mais extração de jazidas naturais para a construção e manutenção das cidades.

Com a preocupação mundial da preservação dos recursos ambientais e de minimizar o dano causado pela poluição, as políticas ambientais vêm sendo discutidas para que seja viabilizado a destinação dos RCC. Por isso, uma das soluções de destinação é o reaproveitamento desses materiais como agregados que podem ser empregados em argamassas, pavimentações de baixo tráfego e outros.

Para Leite (2007, 53):

A reciclagem é, sem dúvida, a melhor alternativa para reduzir o impacto que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria-prima e a geração desordenada de resíduos. Nos últimos anos, a reciclagem de resíduos tem sido incentivada em todo o mundo, seja por questões políticas, econômicas ou ecológicas. A reciclagem de resíduos de construção irá minimizar também os problemas com o gerenciamento dos resíduos de sólidos dos municípios. Haverá um crescimento de vida útil nos aterros, diminuição dos pontos de descarte clandestinos e redução dos custos de gerenciamento de resíduos. Adicionalmente, haverá um melhor bem-estar social ambiental.

Com essa demanda, impulsionou-se o mercado de usinas de reciclagem de resíduos de construção civil. Entretanto, esse setor ainda caminha incipiente no Brasil. Embora registra-se usinas de reciclagem atuante no país desde 1986 (MIRANDA et al., 2009), somente após a Resolução 307 do CONAMA é que houve um crescimento significativo deste setor e com isso foi possível a criação de empresas especializadas em reciclagem de RCC ou RCD (Resíduos de Construção e Demolição).

Juntamente com a Resolução n. 307/2002 as normativas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT implantaram Áreas de Transbordo e Triagem (ATTs), Aterros, Áreas de Reciclagem e uso do agregado reciclado por meio da NBR 15112 a NBR 15116/2004. Essas normas tornaram-se importantes para o tratamento da gestão pública no uso adequado dos materiais, pois nos processos de licitação, exige-se que estes materiais atendam as normas técnicas pertinentes (SINDUSCON, 2012).

Pelo levantamento de Miranda et al. (2015) existem cerca de 310 usinas de reciclagem de RCD instaladas em todo o país. Em Palmas - TO, a primeira usina de reciclagem de RCD iniciou suas atividades no início de 2018, sendo criada por uma cooperativa de empresários do setor de destinação de entulho.

Nessa perspectiva, a Política Nacional de Resíduos Sólidos n. 12.305 de 02 de agosto de 2010, e sua última regulamentação, por meio do Decreto Presidencial n. 7.404 de 23 de

dezembro de 2010 reforçou a gestão integrada e as responsabilidades dos geradores de resíduos, obrigando assim as construtoras a buscar formas para a destinação dos resíduos gerados como meio de minimizar os impactos causados.

A reciclagem de resíduos faz parte de uma das variáveis mais importantes da gestão, uma vez que o beneficiamento com reinserção de materiais recicláveis no ciclo de produção torna a economia sustentável. Pois, a reciclagem forma as seguintes vantagens: preservação de recursos naturais; economia de energia; redução do volume de aterros; redução da poluição; geração de empregos; redução do custo do controle ambiental pelas indústrias; aumento da durabilidade e economia de divisas (JOHN, 2000 apud ROHM et al., 2013).

Segundo o Sinduscon (2012, p.21) “o RCC é gerado entre 0,4 a 0,7t/hab.ano e representa 2/3 da massa dos resíduos sólidos municipais ou em torno do dobro dos resíduos sólidos domiciliares”.

As tabelas 1 e 2 do item 6 apresentam os requisitos para agregado reciclado destinado a pavimentação estabelecida pela NBR 15116:2004 os agregados destinados à pavimentação, devem atender os critérios de composição granulométrica, dimensão máxima característica, e especificidades relacionados:

Tabela 1: ABNT NBR 15115:2004 – item 6.1 Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação.

Propriedades	Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensão Máxima característica	≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Índice de forma	≤ 3	-	ABNT NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira 0,42 mm	Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	
Contaminante – Materiais não minerais de mesmas características	não	2	Anexo A	Anexo B
teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais minerais de características distintas ¹⁾	não de	3	Anexo A Anexo B
	Sulfatos	2	ABNT NBR 9917	

¹⁾ Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Fonte: ABNT NBR 15115:2004.

Tabela 2: item 6.2 NBR 15115:2004 - Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação.

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento ¹⁾	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

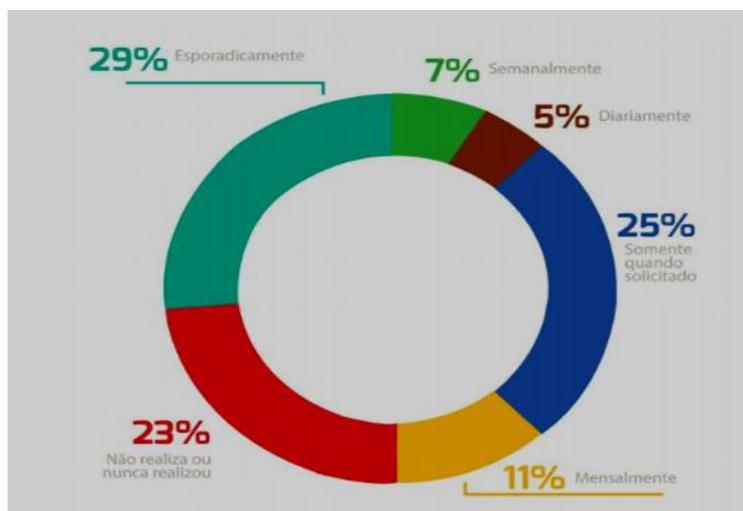
¹⁾ Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.

Fonte: ABNT NBR 15115:2004 .

A norma também estabelece os critérios de controle tecnológicos no qual esses agregados devem ser submetidos. Os materiais de Agregado de Resíduo Misto (ARM) ou Agregado de Resíduo de Concreto (ARC) devem ser divididos em lotes conforme a sua graduação (bica corrida, brita um, brita zero, etc) e com periodicidade de um mês ou a cada 1500 m³ por lote.

Através do levantamento da ABRECON de 2014/2015 apresentado no relatório de pesquisa setorial mostra que as usinas de reciclagem de RCC ainda não possuem o hábito de realizar ensaios de controle tecnológico com os materiais do entulho processado, conforme mostra o gráfico abaixo.

Figura 1: Frequência de realização de ensaios técnicos nos produtos.

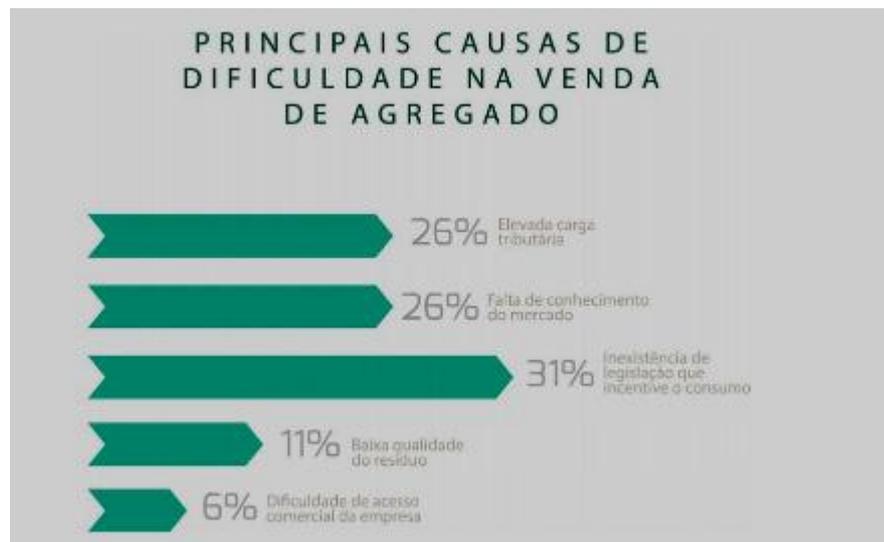


Fonte: Relatório de Pesquisa Setorial. ABRECON, 2015.

Todavia, mesmo se tratando de exigência normativa, as indústrias de reciclados passaram a efetivar maior controle sobre seus subprodutos com a exigência dos consumidores para garantia a qualidade e divulgação das propriedades dos agregados (ABRECON, 2015).

Não obstante, o mesmo estudo indica que os principais fatores que dificultam a venda desses materiais destacando a falta de legislação que incentive o consumo, a elevada carga tributária e a falta de conhecimento.

Figura 2: Principais causas de dificuldades na venda de agregados reciclados.



Fonte: Relatório de pesquisa setorial. ABRECON, 2015.

A utilização do RCC pode contribuir para a preservação ambiental produzindo menos extração de jazidas, diminuindo o desperdício de materiais de refugo além de ser uma alternativa mais econômica já que agregados provenientes de resíduos de construção possuem o valor inferior aos materiais rochosos naturais.

Martins (2012) afirma que a reciclagem de RCC possibilita a inserção de novos materiais de construção de baixo custo junto ao mercado consumidor, o que permite dessa maneira o acesso às classes menos favorecidas da população.

Em termos técnicos, os subprodutos de materiais reciclados usados para contenção de encostas e cascalhamento de pavimentação possuem as mesmas características de medida, peso e durabilidade que conferem sua eficiência para a aplicação no trabalho proposto.

Assim as futuras construções de lagoa de resíduos de dejetos agrícolas poderão se classificar juntamente com as já existentes pavimentações, obras estas de engenharia projetadas de forma a utilizar o Resíduo da Construção Civil.

2.2 OS AGREGADOS

Os agregados são usados largamente na construção civil sendo um dos insumos mais importantes. Na pavimentação, esse material é empregado tanto para a estruturação que recebe a camada de revestimento asfáltico chamada de base e sub-base destinada a resistir aos esforços, quanto para a mistura da liga betuminosa. Também para a construção de represas, há um grande volume de consumo de cascalho e terra para a contenção do reservatório.

Para Bernucci (2008), a classificação dos agregados se dá de acordo com sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos. Em relação à sua natureza, compreendem três tipos: os naturais que são extraídos e utilizados na forma *in natura* como o seixo rolado, cascalho e a areia, ou ainda fragmentados mecanicamente como as britas; os artificiais que são aqueles gerados por processos industriais como a escória de alto forno e os reciclados que são reaproveitados de resíduos.

Em relação ao tamanho, o agregado é classificado como graúdo que possui grãos maiores que 2,0mm como a brita, os miúdos que ficam entre 0,075mm e 2,0 mm como a areia, e material de enchimento como o filer que possui partículas com dimensões inferiores a 0,075mm.

A divisão dos grãos quanto à distribuição ocorre por meio do ensaio de peneiramento determinando assim aspectos como o diâmetro máximo característico e módulo de finura, mas que pode colocado como uma subdivisão da classificação dos agregados.

Sob essa compreensão, os agregados possuem um tamanho significativo para compor a construção da lagoa, principalmente tratando-se de agregados do RCD que, após passar pelo procedimento de peneiração dos insumos de resíduos reciclados demonstram ser bastantes resistentes para serem aplicados do projeto proposto.

2.3 USO DE AGREGADOS DO RCC

Comparando à quantidade de material gerado, a utilização de agregados reciclados ainda é irrelevante. A falta de informações precisas sobre as características dos materiais que garantem a qualidade e eficiência aumentam a desconfiança dos consumidores com este produto, bem como dificulta a procura dos mesmos.

Também há descaso do poder público que não implementam políticas para incentivo para o tratamento e utilização dos materiais reciclados. Pinto (1999) explica que em países europeus e no Japão, existem políticas elaboradas no que diz respeito ao controle e

gerenciamento de seus resíduos devido a alta densidade demográfica e a falta de espaço para o armazenamento.

Alguns países do mundo, por exemplo, a Itália, possuem especificações próprias no controle de produção e de aplicação de agregados reciclados para pavimentação, levando em consideração a forma e a heterogeneidade dos grãos (COSTA; URSELLA, 2003 apud MOTTA, 2005).

A maior dificuldade em utilizar o RCC é que este não possui características físicas inerentes, ou seja, não há como garantir que os índices de uma amostra representem a totalidade em um projeto de grande proporção. Isso porque o material é bastante heterogêneo e possui diferentes resistências e propriedades específicas.

Por exemplo, um concreto de 40 Mpa descartado por uma construtora pode ser misturado com argamassas ou com concreto magro (de baixa resistência). Na triagem, esse material será separado como cimentícios, o que pode gerar uma baixa resistência no material total.

É fundamental implementar a minimização e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos, com participação da sociedade na busca de soluções, visando à redução dos riscos sanitários e ambientais, à melhoria da qualidade de vida e da saúde das populações e ao desenvolvimento sustentável (GÜNTHER, 1999).

Por isso destaca-se que o processo de triagem deve ser feito no local de geração do resíduo para que seja eficaz. Para isso, exige-se que os colaboradores sejam treinados, além de necessitar de um forte incentivo para a conscientização dos operários para colaborar no processo.

Alinhando o processo de gerenciamento do resíduo gerado com controle tecnológico rigoroso é possível ter material com qualidade igual à de matéria prima extraída conforme diversos estudos na área. Leite (2007) identificou a partir de ensaios de módulo de resiliência que tanto os RCD quanto um agregado natural apresentaram comportamentos similares. Os ensaios tri axiais obtém valores relativamente elevados do ângulo de atrito para RCD.

Herrador et al. (2012) observaram a partir de um estudo experimental de campo que a capacidade de suporte apresentada com o uso do RCD possui um comportamento similar ao observado para uma estrutura com agregados convencionais.

Com isso, a ideia da empregabilidade do uso de agregados gerado a partir de entulho para enchimentos não estruturais expandiu para o uso de novos concretos e também no reforço de base para rodovias.

Pinto (1999, p. 98) enfatiza que o conjunto de informações sobre a utilização dos RCD na pavimentação de estradas, posteriormente, teve seu desenvolvimento em 1989 por técnicos que trabalhavam na Prefeitura de São Paulo, que verificaram a capacidade de suporte do pavimento com o uso de uma quantidade muito menor de agregados.

A relação custo-benefício associada à utilização dos RCC's principalmente para a pavimentação e serviços de terraplenagem é que o valor gasto em material para aterro chega a ser até 50%.

Segundo Motta (2005, p. 29-30), em Belo Horizonte, a utilização de agregados reciclados nas camadas de reforço do subleito, subleito, sub-base e base da pavimentação vem ocorrendo desde 1996, em algumas avenidas, como a Raja Gabaglia e a Mário Werneck.

A tabela 3 relaciona os principais publicados no Brasil sobre o uso de agregados reciclados em ordem cronológica que evidencia o crescimento e evolução da aplicação desse material em diversos elementos da construção civil.

Tabela 3: Principais publicações sobre agregados reciclados.

APLICAÇÕES	OBSERVAÇÃO	FONTE
Em camadas de drenagem pavimentação e em melhoria de solos	Possibilidade de estabilizar solos expansíveis	Brito Filho (1999)
Fabricação de peças pré-moldadas de concreto sem função estrutural e em argamassa	Viabilidade em concreto sem função estrutural	Lima (1999)
Fabricação de concreto sem função estrutural	Viabilidade em concreto sem função estrutural	Rodrigues (2011)
Análise da viabilidade do agregado de RCC para uso em argamassas e concreto	Viabilidade dos agregados reciclados em todas as propriedades analisadas	Ângulo (2000)
Novas rodovias e recuperação de antigas num total de 400 km	-----	Dias (2004)
Em reforço de solos	Viabilidade em uso de reforço de solos	Santos (2007)
Estaca de compactação	Viabilidade em uso de reforço de solos	Lira Jr. (2010)
Em vias de baixo volume de tráfego	Viabilidade e aplicação dos agregados reciclados em propriedades de pavimentação analisadas	Fernandes (2004) Motta (2005) Leite (2007)
Construção de via rodoviária	Comportamento mecânico do agregado reciclado	Grubba (2009)

Fonte: Proença (2013).

Com a contribuição da tecnologia para os estudos e desenvolvimento de ensaios de controle tecnológico normatizados pela ABNT, aprimorou-se a gestão dos resíduos de RCC garantindo a confiabilidade dos resultados, sendo satisfatórios para a utilização destes elementos submetidos à solicitação de esforços.

No entanto, é fundamental que o estudo seja elaborado também sobre as características físico-químicas e das propriedades dos resíduos, por meio de ensaios e outros métodos apropriados. Nos estudos deste trabalho foram capturadas informações que dão subsídio aos elementos de resíduos os quais serão aplicados para o RCC reciclados, pois há uma variedade das fontes de matérias-primas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A destinação do RCC trata-se de uma represa de dejetos agrícolas onde é armazenada água com substâncias utilizadas no estudo de alteração genética em plantas da empresa Du Pont do Brasil S.A. localizada na Unidade 1 em Porto Nacional – TO.

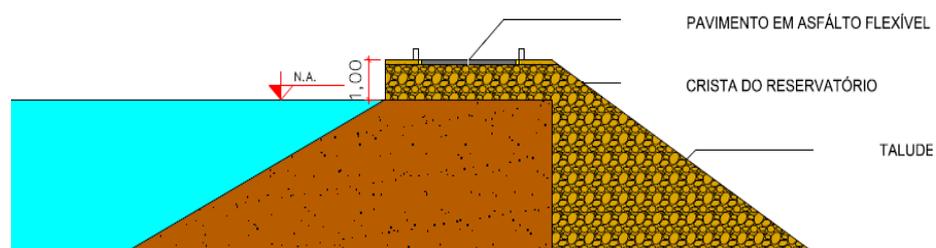
Figura 3: Local da construção da lagoa de resíduos.



Fonte: Google Earth (2019).

A represa possui parte de aterro convencional, lona para garantir a estanqueidade e a evitar contaminação do solo, já a segunda parte do material é composto de RCC utilizado no talude de jusante e na composição da crista a 1 metro (figura 4) acima do nível da água para receber o pavimento asfáltico do perímetro da represa.

Figura 4: croqui da construção da represa para dejetos agrícolas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Mediante 01 amostra respectiva, colheu-se 50 kg de RCC submetendo-o à triagem e aos ensaios de caracterização estabelecidos pela NBR 15116:2004 e NBR 15115:2004, sendo:

- NBR 6457:1984 – Amostra do solo – Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização
- NBR 7181:1984 – Solo – Análise granulométrica;
- NBR 7182:1984 – Solo – Ensaio de compactação;
- NBR 7185:1986 – Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ” com emprego do frasco de areia;
- NBR 7218:1987 – Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis;
- NBR 7809:1983 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro
- NBR 9895:1987 – Solo – Índice de suporte Califórnia
- NBR 9936:1987 – Agregados – determinação do teor de partículas leves.

Buscou-se avaliar as características dessa amostra de resíduo de construção civil coletado nas obras da região de Palmas – TO submetendo-o aos seguintes ensaios realizados no laboratório de solos do CEULP – ULBRA de Palmas – TO, em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Figura 5: Moldes cilíndricos metálicos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

De acordo com a NBR 15116:2004 para a execução dos ensaios é necessário à coleta do material que deve ser efetuada na pilha de agregados reciclados, em vários pontos distintos, devendo-se convenientemente acondicionar em invólucro ou recipiente que evite sua contaminação. Neste caso, foi coletado pela amostra em campo, cujo é formada por várias amostras parciais em número suficiente para os ensaios em laboratório.

Para a determinação da composição dos agregados reciclados graúdos por análise visual seguiu o procedimento de classe A da construção civil da NBR 15116:2004, o qual necessitou no preparo de concretos sem função estrutural e em pavimentação, usando-se os seguintes equipamentos:

- a) Balança com capacidade mínima de 10 kg com resolução de 0,1 g;
- b) Estufa com temperatura ajustável a $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
- c) Peneira metálica com abertura de malha 4,8 mm, conforme a ABNT NBR NM-ISO 3310-1;
- d) Bandeja metálica para secagem do material.

Conforme a NBR 6457:1984 preparou-se as amostras do solo em laboratório devidamente através do ensaio de compactação e ensaios de caracterização. O objetivo é elaborar a análise granulométrica, determinar os limites de liquidez e plasticidade, massa específica dos grãos que passam na peneira de 4,8 mm e massa específica, massa específica aparente e absorção de água dos grãos retidos na peneira.

A normativa estabelece três processos que podem ser utilizados para a preparação de amostras para ensaios de compactação: a) preparação com secagem prévia até a umidade higroscópica; b) preparação a 5% abaixo da umidade ótima presumível; c) preparação a 3% acima da umidade ótima presumível.

Utilizou-se a preparação Proctor Normal, com a reutilização do solo, para a obtenção de sua curva de compactação, com os principais equipamentos: almofariz e mão com borracha; peneira n. 4 (4,8mm); balança; molde cilindro de 1000cm^3 , com base e colarinho; soquete cilindro; extrator de amostras; cápsulas para determinação de umidade; e estufa.

Figura 6: Preparando para a Compactação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Ao realizar a preparação da amostra, toma-se certa quantidade de material seco ao ar e faz-se o destorramento até que não haja torrões maiores que 4,8 mm. Como apresentado na figura 6. Através da peneira n. 4 (4,8mm) como mostra na figura 8 pode-se determinar a umidade das amostras higroscópica.

Figura 7: Prensa que rompeu o CBR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 8: Peneira n. 4 (4,8mm).



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Com base nos itens mencionados, executou o adição de água à amostra até verificar a consistência. Após verificar a homogeneização da amostra, compactou-se no molde cilíndrico em 3 camadas iguais (cada uma cobrindo aproximadamente um terço do molde), aplicando-se em cada uma delas 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada, com o soquete caindo de 0,305m (figura 5).

Em seguida, removeu-se o colarinho e a base, aplaina-se a superfície do material à altura do molde e pesa-se o conjunto cilindro + solo úmido compactado e retirou-se a amostra do molde com auxílio do extrator, e partindo-a ao meio, coleta-se uma pequena quantidade para a determinação da umidade. Posteriormente desmanchou-se o material compactado até que possa ser passado pela peneira n.4 (4,8mm), misturando-o em seguida ao restante da amostra inicial (para o caso de reuso do material), por fim adicionou água à amostra homogeneizando-a (normalmente acrescenta-se água numa quantidade da ordem de 2% da massa original de solo, em peso). Este processo foi repetido por quatro vezes.

Após o peneiramento citado, executou o procedimento da tabela abaixo:

Tabela 4: Procedimento após peneiramento.

Peneira (mm)	Material retido (% em peso)	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Observação
4,8	Menor que 7	Grande ou pequeno	Desprezar o material retido
19,1	Menor que 10	grande	Desprezar o material retido
19,1	Menor que 10	Grande	Ver nota abaixo
19,1	Maior que 30	-	Recomenda-se não ensaiar de acordo com o método de ensaio de

Fonte: NBR 6457:1986.

Obtendo as quantidades de amostra a serem tomadas indicadas pela tabela 5:

Tabela 5: Quantidade de amostra a ser tomada.

Ensaio de compactação	A amostra preparada passa integralmente na peneira (mm)	Cilindro a ser utilizado no ensaio	Quantidade de amostra (em massa seca) a ser tomada kg
Com reuso de material	4,8	Pequeno	3
	19,1	Grande	7
Sem reuso de material	4,8	Pequeno	15
	19,1	Grande	35

Fonte: NBR 6457:1986.

Para acolher os resultados, foi necessário usar as seguintes fórmulas:

- Peso específico úmido: $\gamma = [(\text{Peso Cilindro} + \text{Solo Úmido}) - (\text{Peso Cilindro})] / (\text{Volume Cilindro})$

- Peso específico seco: $\gamma_d = (\gamma \cdot 100) / (100 + w)$

- Peso específico seco em função do grau de saturação: $\gamma_d = (S_r \cdot \gamma_s \cdot \gamma_w) / (w \cdot \gamma_s + S_r \cdot \gamma_w)$

S_r - Grau de saturação

w - Umidade

γ_s - Peso específico das partículas sólidas

γ_w - Peso específico da água.

Por meio dessa fórmula, pode-se obter resultados pertinentes correlação do teor de umidade e o peso específico seco do solo quando compactado com determinada energia. A realização do ensaio contribuiu para averiguar se o solo se encontra adequado para a construção da contenção da lagoa.

Tratando-se da análise granulométrica da amostra respectiva, através da NBR 7181:1984 o método foi realizado por peneiramento consultando-se as seguintes normativas: NBR 534 – peneiras para ensaio; NBR 6457 – preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização; e NBR 6508 – grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica. Anotando-se pela resolução da tabela 5 abaixo, a massa da amostra seca ao ar como M_t .

Tabela 6: determinação do peso da amostra seca ao ar.

Dimensão dos grãos	Balança a ser utilizada
--------------------	-------------------------

maiores contidos na amostra (mm)	Capacidade nominal	Resolução
	(Kg)	(g)
	10	1
>25	5	0,5
5 a 25	1,5	0,1
<5		

Fonte: NBR 7181:1984.

Nessa premissa, utilizou a fórmula do cálculo da massa total da amostra seca disposto na NBR 7181:1984 item 5.1, sendo:

$$M_s = \frac{(M_t - M_g) \times 100 + M_g}{(100+h)} \quad [\text{numero 1}]$$

Onde:

M_s = massa total da amostra seca

M_t = massa da amostra seca ao ar

M_g = massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm

h = umidade higroscópica do material passado de 33, 25, 19, 9,5, 4,8 e 2,0 mm

A preparação do material ocorreu na peneira de 2,0 mm, sob o cuidado de modo a assegurar a retenção na peneira que seja somente dos grãos. A lavagem foi realizada a fim de eliminar o material fino aderente e posteriormente colocou-se a secar na estufa a 105° C/110° C até formar constância de massa.

A figura 7 mostra a preparação do material para o ensaio granulométrico.

Figura 9: Ensaio de granulometria.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Mediante a orientação da NBR 7181:1984, para determinar a distribuição granulométrica do material por apenas peneiramento, este passou pelo peso com resolução de 0,01 g (M_h). O cálculo utilizado para as porcentagens de materiais que passam nas peneiras de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8 e 2,0 mm são da fórmula:

$$Q_g: \frac{(M_s - M_i)}{M_s} \times 100 \quad [\text{numero } 2]$$

Onde:

Q_g : porcentagem de material passado em cada peneira

M_s : massa total da amostra seca

M_i : massa do material retido acumulado em cada peneira

O ensaio de compactação – Solo - NBR 7182:1986 tem como objetivo determinar a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca de solos quando compactados, de acordo com os processos especificados. Ao ser aplicado consultou-se a NBR 5734 – peneiras para ensaios; NBR 6457 – amostras de solo – preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização; NBR 6458 – grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água; NBR 6509 – grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica.

A aparelhagem necessária para a execução do ensaio é a seguinte: a) balanças que permitam pesar nominalmente 10 kg e 200 g, com resoluções de 1 g e 0,01 g; b) peneiras de 19 e 4,8 mm, de acordo com a NBR 5734; c) estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C; d) cápsulas metálicas, com tampa, para determinar a umidade; e) bandejas metálicas de 75 cm x 5 cm; f) régua de aço biselada com comprimento de 30 cm; g) espátulas de lâmina flexível com aproximadamente 10 cm e 2 cm de largura e 12 cm de comprimento; h) cilindro metálico pequeno (cilindro de Proctor); i) cilindro metálico grande (cilindro de CBR); j) soquete pequeno; k) soquete grande; l) provetas de vidro com capacidade de 1.000 cm³, 200 cm³ e 100 cm³ e com graduações de 10 cm³, 2 cm³ e 1 cm³; m) desempenadeira de madeira com 13 cm x 25 cm; n) extrator de corpo-de-prova; o) conchas metálicas com capacidade de 1.000 cm³ e 500 cm³; p) base rígida de concreto, com massa superior a 100 kg; q) papel filtro com diâmetro igual ao do molde empregado.

As energias de compactação são normal, intermediária e modificada, assinaladas com as características expostas na tabela:

Tabela 7: Energias de compactação.

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

O ensaio realizado com reuso de material, sobre amostras preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica, ocorreu após fixar o molde cilíndrico à sua base, acoplando o cilindro complementar e apoiando o conjunto em uma base rígida. Tomando a amostra preparada para o ensaio com o reuso de material de acordo com a NBR 6457.

Na bandeja metálica, com auxílio da proveta de vidro, adicionou água destilada, gradativamente e revolvendo continuamente o material, de forma a se obter teor de umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível. Após completa homogeneização do material, procedeu-se à sua compactação, atendo-se ao soquete, número de camadas e número de golpes por camada. Os golpes do soquete foram aplicados perpendicularmente e distribuídos uniformemente sobre a superfície de cada camada, sendo que as alturas das camadas compactadas resultam de formas iguais. A compactação de cada camada é precedida de uma ligeira escarificação da camada subjacente.

Após a compactação da última camada, retirou-se o cilindro complementar depois de escarificar o material em contato com a parede do mesmo, com auxílio de espátula, o excesso de, 10 mm de solo compactado acima do molde foi removido e rasado com auxílio de régua biselada. Ao pesar o conjunto, com resolução de 1 g, e, por subtração do peso do molde cilindro, obteve-se o peso úmido do solo compactado, Ph. Com auxílio do extrator, retirou o corpo-de-prova do molde e do centro do mesmo, tomou uma amostra para determinação da umidade, h, de acordo com a NBR 6457.

Ao destorroar o material, com auxílio da desempenadeira e da espátula, em tamanho que passe na peneira de 4,8 mm ou de 19 mm, juntou-se o material assim obtido com o remanescente na bandeja adicionando água destilada, revolvendo o material, de forma a incrementar o teor de umidade de aproximadamente 2%. Este processo foi repetido até obter 5 pontos, dois no ramo seco.

O ensaio ao ser realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica seguirá de acordo com a NBR 6457 dividido em cinco porções iguais. A seguir, com cada porção, a primeira com umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima presumível, a segunda com umidade 2% superior à primeira e assim por diante. As porções ensaiadas foram desprezadas e dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois estava no ramo seco, um próximo à umidade ótima no ramo seco, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

Já o ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas a 5% abaixo da umidade ótima presumível, passou pelo mesmo procedimento de acordo com a NBR 6457 e dividido em cinco porções iguais. As porções ensaiadas foram desprezadas e dos cinco pontos obtidos no final do ensaio, dois estão no ramo seco, um próximo à umidade ótima, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

Por último, o ensaio realizado sem reuso de material, sobre amostras preparadas a 3% acima da umidade ótima presumível, ao passar pelo processo da NBR 6457 e divididos em cinco porções iguais. As porções ensaiadas ao serem desprezadas e dos cinco pontos obtidos ao final do ensaio, dois estavam no ramo seco, um próximo à umidade ótima, e dois no ramo úmido da curva de compactação.

Determinado pela fórmula:

$$\gamma_s = \frac{P_h \times 100}{V (100 + h)}$$

[numero 3]

Onde.

- γ_s = massa específica aparente seca, em g/cm³;
- P_h = peso úmido do solo compactado, em g;
- V = volume útil do molde cilíndrico, em cm³; e
- h = teor de umidade do solo compactado, em %.

Não obstante, usando-se a fórmula abaixo para determinar a curva de saturação (relação entre a massa específica aparente seca e o teor de umidade, para grau de saturação do solo igual a 100%):

$$\gamma_s = \frac{S}{\frac{h}{\delta_a} + \frac{S}{\delta}}$$

[numero 4]

Onde:

- γ_s = massa específica aparente seca, em g/cm³;
 S = grau de saturação, igual a 100%;
 h = teor de umidade, arbitrado na faixa de interesse, em %;
 δ = massa específica dos grãos do solo, determinada de acordo com a NBR 6508 ou NBR 6458, em g/cm³; e
 δ_a = massa específica da água, em g/cm³ (considerar igual a 1,00 g/cm³).

Quanto ao Solo, previsto na NBR 7185:1986 da determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia tem-se como método de ensaio a ser aplicado em solos de qualquer granulação, contendo ou não pedregulhos, que possam ser escavados com ferramentas de mão de cujos vazios naturais sejam suficientemente pequenas. O material de ensaio é suficientemente coesivo e firme conforme exige esta normativa.

Para este procedimento consultou-se a NBR 5734 – peneiras para ensaios; NBR 6457 – amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização; e NBR 7181 – Solo – Análise granulométrica.

Usou-se a seguinte aparelhagem para a execução do ensaio:

- a) frasco de plástico translúcido com cerca de 3500 cm³ de capacidade, dotado de gargalo rosqueado, com funil metálico provido de registro e de rosca;
- b) bandeja quadrada rígida, metálica, com cerca de 30 cm de lado e bordas de 2,5 cm de altura, dotado de rebaixo para apoio do funil;
- c) nível de bolha;
- d) pá de mão (concha);
- e) talhadeira de aço, com cerca de 30 cm de comprimento;
- f) martelo com cerca de 1 kg;
- g) balanças de 1,5 kg e 10 kg, com resolução de 0,1 g e 1 g;
- h) recipiente para acondicionar a amostra, sem perda de umidade;
- i) estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C;
- j) cilindro metálico de volume conhecido (cerca de 2000 cm³);
- k) areia lavada e seca, de massa específica, constituída da fração com diâmetro dos grãos, em massa, retida na peneira entre 1,2 mm e 0,59 mm, sendo que a soma das porcentagens seja igual ou menor que 5%;

- l) peneiras de 1,2 mm a 0,59 mm, de acordo com a NBR 5734.

Seguindo as recomendações da presente normativa, a execução do ensaio preencheu o funil e o orifício no rebaixo da bandeja com massa de areia, montou-se o conjunto frasco e funil, com a resolução de massa a 1 g, e instalou o conjunto frasco + funil de modo que ficasse com a superfície plana com o funil apoiado no rebaixo da bandeja. Posteriormente, abriu o registro deixando a areia escoar, ao retirar o conjunto com a massa em resolução de 1 g.

Obteu-se a massa de areia deslocada que preencheu o funil e o orifício no rebaixo da bandeja, sendo a fórmula de $M3 = M1 - M2$. Ao montar o conjunto frasco + funil, anotado como M4, instalou-se o funil de modo a apoiar-se no rebaixo da bandeja, colocando este sobre a borda de um cilindro metálico de volume e com o registro aberto deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco, por fim, estando o frasco com a areia restante, determinou a massa com resolução de 1 g, anotado como M5. A massa da areia que preenche o cilindro de volume segue a fórmula: $M6 = M4 - M5 - M3$.

A NBR 9895:1987 diz respeito ao solo – índice de Suporte Califórnia, cujo objetivo é determinar o valor do índice de Suporte Califórnia e da expansão de solos em laboratório, utilizando amostras deformadas, não reusadas de material que passa na peneira de 19 mm, com um mínimo de 5 corpos-de-prova. Esta normativa também conterà normas complementares sendo: NBR 5734 – peneiras para ensaio, especificação; NBR 64 57 – amostras de solo – preparação para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização; e NBR 7182 – solo – ensaio de compactação.

Para a sua execução, usou-se a seguinte aparelhagem: a) balança que permite pesar nominalmente 20 kg, 100 g e 200 g com resolução de 1 g, 0,1 g e 0,01 g compatível;

- b) peneiras de 19 e 4, 8 mm de acordo com a NBR 5734;
- c) estufa capaz de manter a temperatura entre 105 e 110° C;
- d) cápsulas metálicas, com tampa, para determinar umidade;
- e) bandeja metálica de 75 cm x 50 cm x 5 cm;
- f) régua biselada com comprimento de 30 cm;
- g) espátulas de lâmina flexível com aproximadamente 10 x 12 cm e 2 x 10 cm (largura x comprimento);
- h) cilindro;
- i) soquete;

j) prato perfurado de ferro galvanizado, com 149 mm de diâmetro e 5 mm de espessura conforme exige esta normativa;

l) porta-extensômetro;

m) disco anelar de aço para sobrecarga dividido diametralmente em duas partes;

n) extensômetro com curso mínimo de 10 mm, graduado em 0,01 mm;

o) prensa de acordo com as expressões desta normativa;

p) extrator de corpo-de-prova;

q) tanque ou recipiente com capacidade tal que permita a imersão total do corpo-de-prova;

r) papel filtro circular com cerca de 150 mm de diâmetro;

s) provetas de vidro com capacidade de 1000 cm³, 200 cm³ e com graduações de 10 cm³, 2 cm³ e 1 cm³;

t) desempenadeira de madeira com 13 cm x 25 cm;

u) conchas metálicas com capacidade de 1000 cm³ e 500 cm³;

v) base rígida de concreto, com massa superior a 100 kg.

Como recomendado, as energias de compactação são por intermediária, e modificada com 12, 26 e 55 golpes por camada, no total de cinco camadas, de acordo com a NBR 7182. O preparo ocorreu pela execução do ensaio de 50 kg conforme a NBR 6457. Devendo por vez, constar o procedimento da tabela 8 após o peneiramento:

Tabela 8: procedimento após peneiramento.

Peneira mm	% de material retido	Observação
4,8	Menor que 7	Desprezar o material retido
19	Menor que 10	Desprezar o material retido
19	Menor que 10	Ver nota abaixo
19	Menor que 30	Não ensaiar de acordo com a presente norma

Nota: passar o material retido na peneira de 19 mm através da peneira de 76 mm e desprezar o material retido nesta última. Substituir o material retido na peneira de 19 mm e que passe na de 76 mm por igual quantidade de material retido na peneira de 4,8 mm e que passe na de 19 mm.

Executou-se, fixando o molde de cilíndrico à sua base e colocou-se o disco espaçador. Na bandeja metálica, com auxílio de proveta de vidro, adicionou água gradativamente e revolver continuamente o material, obtendo-se um teor de umidade em torno de cinco pontos

percentuais abaixo da umidade ótima pressumível. Após completa homogeneização do material, procedeu-se à compactação, em cinco camadas, atendo-se ao número de golpes de soquete. A determinação da umidade, h , foi realizada com uma porção da amostra remanescente na bandeja, retirada imediatamente após a compactação da segunda camada, ao chegar na última camada, retirou-se o cilindro complementar, pesando o conjunto com resolução de 1 h, e, por subtração da massa do molde cilindro, para obter a massa úmida do solo compactado. Este processo foi repetido inúmeras vezes até caracterizar a curva de compactação com um mínimo de cinco corpos-de-prova para a expansão e penetração.

Ao concluir as moldagens, utilizou-se para caracterização a curva de compactação, retirando o disco espaçador de cada corpo-de-prova, invertendo-se os moldes e fixando-os nos respectivos pratos-base perfurados. O corpo-de-prova ao ser deixado pelo disco espaçador, o prato perfurado com a haste de expansão sobre ele são dois discos anelares cuja massa total é de (4540 ± 20) g. A haste extensômetro acoplado ao porta-extensômetro, ao ser colocado na borda superior do cilindro foi anotado a leitura inicial e imergiu-se o corpo-de-prova no tanque, permanecendo este no banho durante quatro dias e as leituras efetuadas de 24 em 24 horas. Diante do término do período de embebição, retirou-se cada corpo-de-prova da imersão deixando escoar a água durante 15 minutos, preparando-o para a penetração.

A penetração foi realizada com uma prensa posta no topo de cada corpo-de-prova, dentro do molde cilindro, as mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão. Assim, ao ser colocada no prato da prensa para o assentamento do pistão de penetração no solo, pela aplicação de uma carga aproximada de 45 N controlada pelo deslocamento do ponteiro do extensômetro do anel dinamométrico, acionou-se a manivela da prensa com a velocidade de 1, 27 mm/min, obtendo as leituras compostas no capítulo 3, correspondendo o cálculo da massa específica aparente seca de cada corpo-de-prova, utilizando a expressão:

$$Y_s = \frac{M_h \times 100}{V(100+h)}$$

[numero 5]

Onde:

Y_s = massa específica aparente seca, em g/cm³

M_h = massa úmida do solo compactado, em g

V = volume útil do molde cilíndrico, em cm³

h = teor de umidade do solo compactado, em %

Foi necessário inserir a seguinte fórmula para calcular a expansão de cada corpo-de-prova:

$$\text{Expansão(\%)} = \frac{(\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensômetro}) \times 100}{\text{Pressão padrão}} \quad [\text{numero 6}]$$

Já para o índice de Suporte Califórnia, traçou-se a curva pressão aplicada pelo pistão versus penetração do pistão. Apresentando a curva pressão-penetração um ponto de inflexão, tangente à curva neste ponto até a mesma intercepte o eixo das abscissas, mediante a fórmula da expressão:

$$\text{ISC} = \frac{\text{pressão calculada ou pressão corrigida} \times 100}{\text{Pressão padrão}} \quad [\text{numero 7}]$$

Nota: adota-se o maior dos valores obtidos nas penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm.

No que concerne sobre os Agregados, previsto na NBR 7218:1987 – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis, usando-se como aparelhagem: balança; estufa (capaz de manter a temperatura no intervalo de 105+/- 5°C; e peneiras com tampa e fundo de acordo com a NBR NM 248.

Para a execução do ensaio, determina-se o teor de argila em torrões e materiais friáveis da amostra, considerando os intervalos granulométricos (menos de 5%) e a massa de amostra representado pela tabela abaixo:

Tabela 9: Intervalos granulométricos e massa mínima de amostra para ensaio.

Intervalos granulométricos a serem ensaiados mm	Massa mínima de amostra para ensaio de cada intervalo granulométrico g
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	200
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	1 000
$\geq 9,5$ e $< 19,0$	2 000
≥ 19 e $< 37,5$	3 000
$\geq 37,5$	5 000

Após, foi espalhado a massa de amostra de cada intervalo granulométrico (m_i) em bandejas apropriadas formando uma camada delgada. Ao cobrir a amostra com água destilada foi necessário deixá-la de repouso durante 24h. Em seguida, ao verificar partículas com aparência de torrões de argila quebrou-se as partículas, transferindo-a para as peneiras com aberturas indicadas na tabela:

Tabela 10: Peneiras para a remoção das partículas de argila e materiais friáveis.

Intervalos granulométricos ensaiados mm	Abertura das peneiras
$\geq 1,18$ e $< 4,75$	600 mm
$\geq 4,75$ e $< 9,5$	2,36 mm
$\geq 9,5$ e $< 19,0$	4,75 mm
≥ 19 e $< 37,5$	4,75 mm
$\geq 37,5$	4,75 mm

Os resultados são pelo teor de argila em torrões e materiais friáveis (m_t) de cada intervalo granulométrico, indicando a porcentagem de:

$$m_t = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$

[numero 8]

Onde:

m_t é o teor de argila em torrões e materiais friáveis, em porcentagem (%). O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo;

m_i é a massa inicial do intervalo granulométrico, em gramas (g);

m_f é a massa após peneiramento via úmida, em gramas (g).

Portanto, para se obter o resultado no cálculo foi necessário calcular o teor parcial de argila em torrões e materiais friáveis, multiplicando a porcentagem determinada em cada intervalo granulométrico pela porcentagem retida individual desse intervalo granulométrico (obtida no ensaio de determinação da composição granulométrica pela NBR 248) e dividir por 100. Os intervalos que representam menos de 5% da massa da amostra total, apesar de não terem sido ensaiados são considerados no cálculo, calculando dessa maneira, o teor de argila em torrões e materiais friáveis presentes na amostra total, pelo somatório dos teores parciais encontrados.

Abrangerá nos resultados do capítulo 3 o relatório NBR 7218, cujo constará o tipo e procedência da amostra; a composição granulométrica; os teores parciais de argila em torrões e materiais friáveis por intervalo granulométrico; e o teor de argila em torrões e materiais friáveis da amostra total.

Quanto ao agregado graúdo previsto na NBR 7809:1983 – determinação do índice de forma pelo método do paquímetro, este tem como objetivo determinar o índice de forma do agregado graúdo com dimensão máxima característica superior a 9,5 mm. Usa-se como normas complementares a: NBR 5734 – peneiras para ensaio; NBR 7211 – agregados para concreto; NBR 7216 – amostragem de agregados – método de ensaio; e NBR 7217 – determinação da composição granulométrica dos agregados – método de ensaio.

Nesta normativa é adotado o índice de forma do agregado, cuja média da relação entre o comprimento e a espessura dos grãos do agregado, ponderada pela quantidade de grãos de cada fração granulométrica que o compõe. Pelo comprimento de um grão “e” maior dimensão possível de ser medida e define a direção do comprimento. E adota-se a espessura de um grão “e”, menor distância possível entre planos paralelos entre si e à direção do comprimento do grão, que o tangenciam.

Usou a seguinte aparelhagem: peneiras de ensaio, da série normal e intermediária, segundo a NBR 5734; paquímetro aferido com sensibilidade de 0,1 mm; e estufa para secagem de materiais a 110 ± 5 °C. Para a execução, a amostra do agregado remetida ao laboratório conteve as quantidades da tabela:

Tabela 11: Frações granulométricas de acordo com as peneiras intermediárias.

Tamanho dos grãos	Massa mínima da amostra inicial (kg)
Até 19 mm	8
Entre 19 e 25 mm	16
Entre 25 e 38 mm	24
Acima de 38 mm	32

A amostra foi secada em estufa a (110 ± 5) °C até a constância de massa. Obteu-se as frações granulométricas de acordo com a NBR 7217, utilizando as peneiras das séries normal e intermediária indicada pela NBR 7211. Foram desprezadas as frações passantes na peneira de 9,5 mm e cuja porcentagem, em massa, retidas individuais sejam iguais ou inferiores a 5%. Conseguiu as medidas dos grãos por meio do paquímetro, a medida do comprimento “c” de espessura “e” de cada um dos grãos obtidos pelo quarteamento segundo a fração do item 5.3.3 desta norma.

A NBR 9936:1987, diz respeito dos agregados e da determinação do teor de partículas leves, o objetivo prescreve o método para a determinação do teor de partículas leves em agregados naturais, através da separação por imersão e flutuação em um líquido denso de massa específica conhecida.

Na aplicação desta norma foi necessário consultar a NBR 5734 – peneiras para ensaio; NBR 7216 – amostragem de agregados – procedimento; NBR 9777 – agregados – determinação da absorção de água em agregados miúdos; e NBR 9941 – redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório em procedimento.

Empregou-se um líquido pesado de massa específica igual a $2,00 \text{ g/cm}^3$ para separar partículas tais como carvão, lignito e outros. E líquidos pensados para separar outras partículas leves, tais como sílex córneo, cuja massa específica é inferior a $2,40 \text{ g/cm}^3$.

Neste sentido, usou-se a aparelhagem: a) balança com capacidade de 200 g e resolução de 0,1 g para agregados miúdos; b) balança com capacidade mínima de 10000 g e resolução de 1 g para agregados graúdos; c) recipientes apropriados para secagem da amostra; d) recipientes para conter o líquido denso e a amostra de ensaio durante o processo de separação; e) escumadeira feita com tela de peneira 0,300 mm, conforme NBR 5734; f) estufa; g) peneiras 0,300 mm e 4,8 mm; h) densímetro ou uma combinação de vidros graduados e balança para medir massa específica de líquido, com resolução de $0,01 \text{ g/cm}^3$; i) haste para agitação.

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Por meio dos dados obtidos no ensaio de análise granulométrica a fim de conhecer a distribuição granulométrica do agregado de forma a ser representado pela curva. O manual DNIT classifica os solos através do sistema unificado, conforme a figura:

Figura 10: Sistema unificado de classificação de solos.

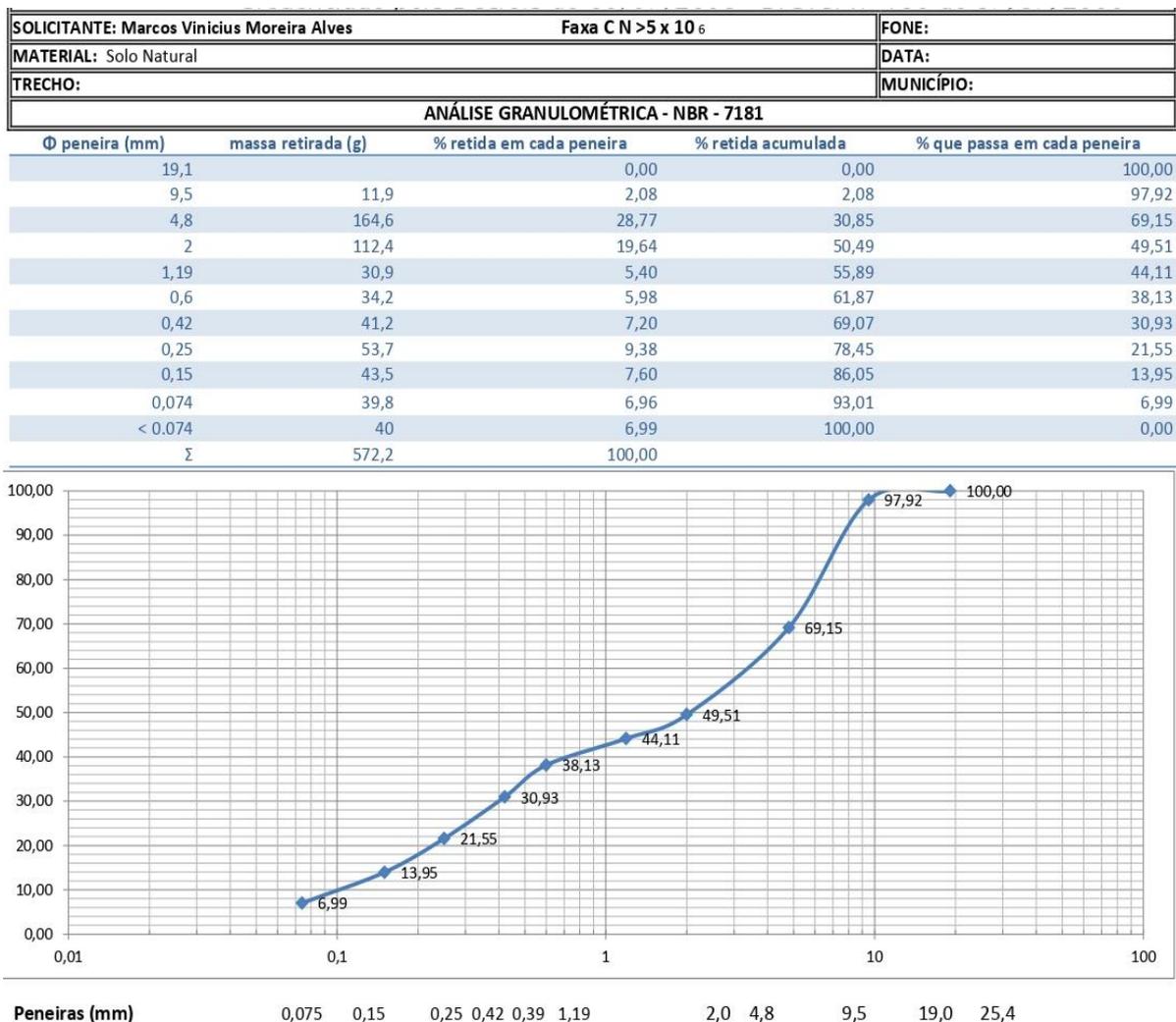
SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped.com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped.com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped.areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped.areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
SOLOS DE GRADUAÇÃO FINA: 50% ou mais passando pela peneira nº 200	SILTES e ARGILAS com LL \leq 50	ML	Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.	
		CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulhosas, arenosas e siltosas.	
		OL	Siltos orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.	
	SILTES e ARGILAS com LL > 50	MH	Siltos - Areias finas ou siltos micáceos - Siltos elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos		PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.

Fonte: DNIT (2006).

Diante disso, verificou-se que o material ensaiado está de acordo com a especificação de serviço DNER-ES303-97, a qual estabelece sobre os critérios para a aceitação do material a ser utilizado na construção em bases de pavimentos da lagoa de RCC, o mesmo consta análise granulométrica por peneiramento. Assim, têm-se os seguintes resultados:

4.1.1 Análise granulométricas do solo natural

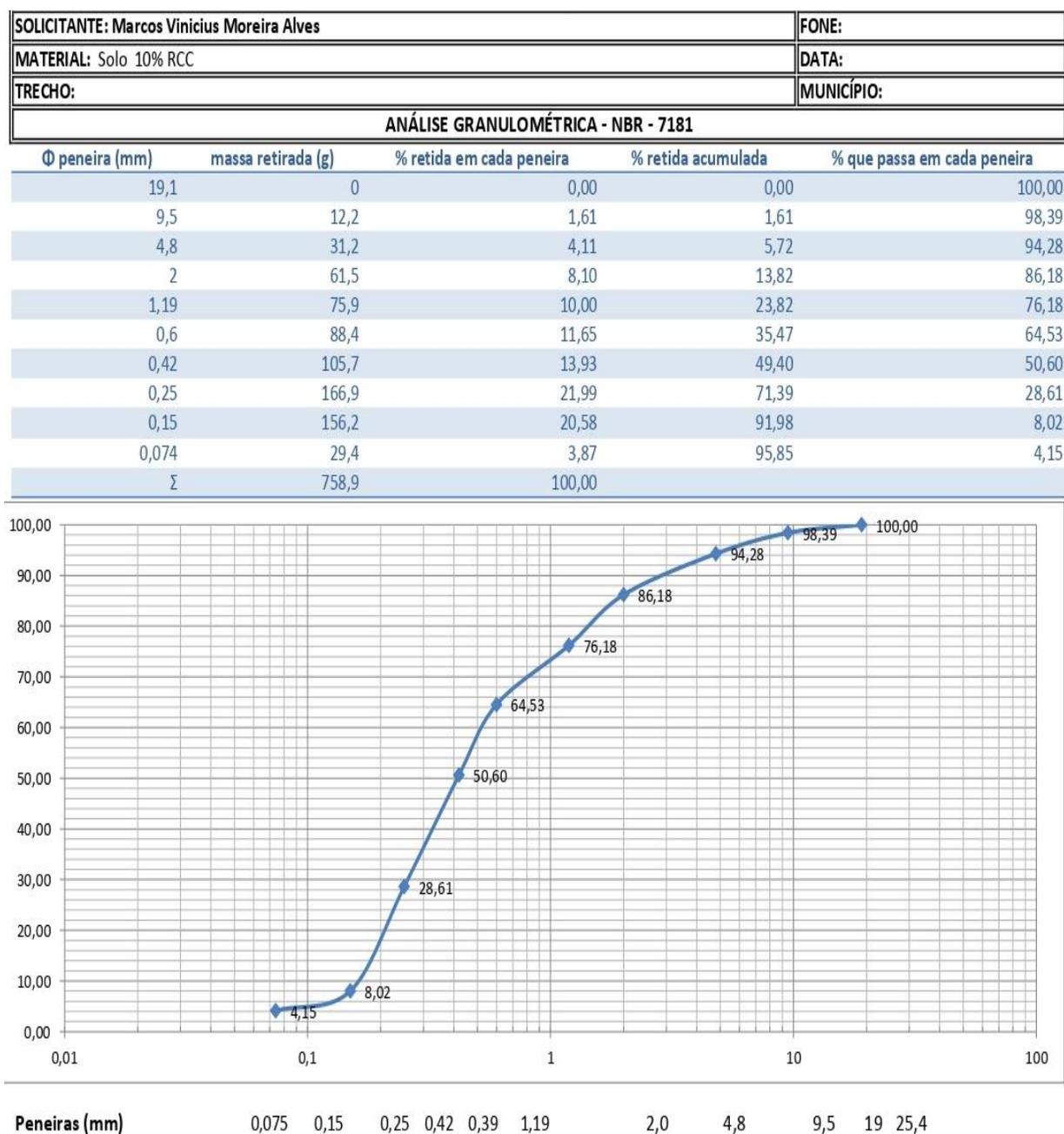
Figura 11: Análise do solo – granulométrica – NBR – 7181.



Nota-se que através da curva granulométrica o material está dentro dos limites da faixa de C, adequado para rodovias com $N < 5 \times 10^6$. Na descrição do DNIT a base é a camada de pavimentação destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os adequadamente à camada subjacente, executada sobre a sub-base, subleito ou reforço do subleito devidamente regulamentado e compactado (DNIT, 2006). Todavia, o CBR adquirido como resultado nos ensaios não dá para base, mas serve para sub-base empregado com $ISC \geq 80\%$. Mediante a especificação do serviço DNER-ES 299-97, o material coletado foi da base classificado em GC (Pedregulhos Argilosos, ou mistura de pedra, areia e argila), este encontra-se de acordo com a especificação de serviço DNER-ES303-97.

4.1.2 Solo natural (10% de RCC)

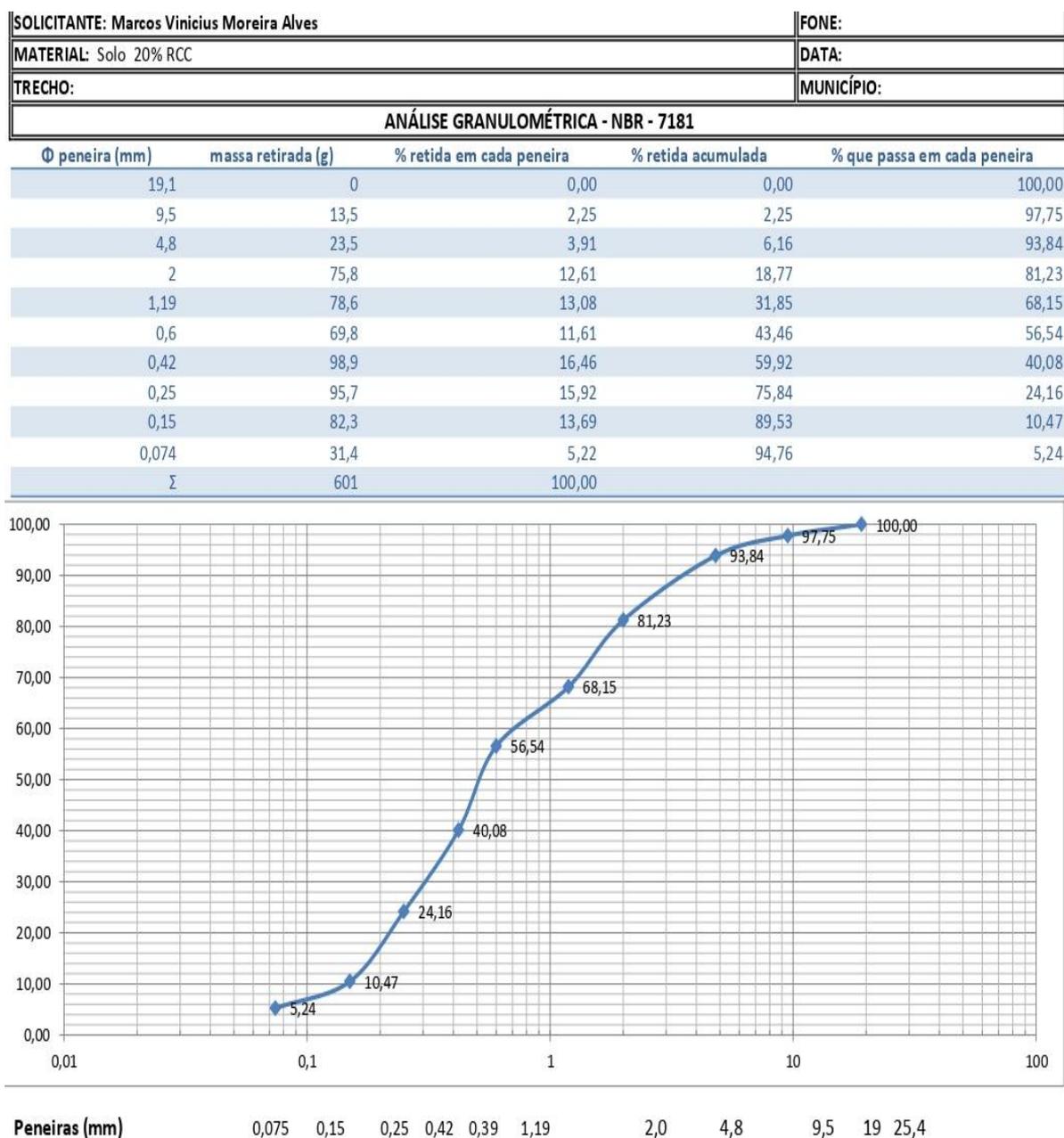
Figura 12: Solo 10% RCC –Análise Granulométrica – NBR – 7181.



Nesta primeira adição de RCC ao solo natural observou-se que houve uma concentração maior de material nas peneiras centrais, entretanto o material se demonstrou como descontínuo.

4.1.3 Solo natural (20% de RCC)

Figura 13: Solo 20% RCC – análise Granulométrica – NBR 7181.



Já neste segundo ensaio com adição do RCC, em relação ao do solo natural temos uma mudança na característica, pois se observa que tem uma grande quantidade de solo retido nas peneiras centrais, entretanto não tem uma descontinuidade como no solo com somente 10% de adição de RCC, demonstrando-se um material mais graduado.

4.2 COMPACTAÇÃO

A compactação é a operação que resulta o aumento da massa específica aparente de um solo pela aplicação de pressão, impacto ou vibração, fazendo as partículas entrarem em contato mais íntimo, com a diminuição do volume do solo. Em vista disso, o método visa determinar a densidade máxima do solo atingida sobre dada energia de compactação (DNIT, 2006).

Baseado nesta explicação, o ensaio foi realizado na energia intermediária para obter a determinação da granulometria do solo natural, de densidade e umidade do solo conforme os resultados da figura 14 que se trata do traço entre a curva de compactação que representa essa densidade e umidade.

Neste sentido, como apresentado os dados da compactação dos Corpos-de-Prova, iniciou-se com umidade de 6% ocorrendo um acréscimo de umidade de 2% até atingir uma umidade de 14%, dessa maneira, através desses resultados permita-se plotar as curvas de compactação representados na mesma figura.

Como resultado, obtêm-se os valores de densidade aparente seca máxima do solo e umidade ótima, correspondente ao ponto máximo de inflexão na curva, ou seja, se ocorrer uma inflexão pela mudança de comportamento que representa a zona onde se pode determinar o peso específico aparente seco máximo do solo ensaiado, conseqüentemente obterá a umidade ótima de compactação, sendo $1,947 \text{ g/cm}^3$ e 11,3%.

Figura 14: Solo natural – compactação NBR 7182.

COMPACTAÇÃO - NBR-7182											Umidade Higroscópica				
Teor de Umidade															
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2		
C + S + A	(g)	78,5	78,5	74,4	74,4	86,4	86,4	66,2	66,2	112,0	112,0	582,7	659,7		
C + S	(g)	74,3	74,3	69,7	69,7	79,8	79,6	60,4	60,4	99,5	99,6	576,9	651,0		
C - Cápsula	(g)	16,6	16,6	17,2	17,2	20,2	20,2	16,7	16,7	17,8	17,8	153,3	102,3		
A - Água	(g)	4,2	4,2	4,7	4,7	6,6	6,8	5,8	5,8	12,5	12,4	5,8	8,7		
S - Solo	C	57,7	57,7	52,5	52,5	59,6	59,4	43,7	43,7	81,7	81,8	423,6	548,7		
w - Umidade	(%)	7,3	7,3	9,0	9,0	11,1	11,4	13,3	13,3	15,3	15,2	1,4	1,6		
Umidade Média	(%)	7,3		9,0		11,3		13,3		15,2		1,5			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada CP para Homogeneização				
Água Adic.	(g)	300		400		500		600		700		M _{úmida} (g)		5000	
% Água Adic.	(%)	6,0		8,0		10,0		12,0		14,0		Nº		Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	7,3		9,0		11,3		13,3		15,2		#	(cm)	(cm ³)	
Nº do Molde	#	12		25		7		11		6		2	53670	2088	
M + S + A	(g)	9420		9630		9920		9890		9850		2	5370	2088	
M - Molde	(g)	5370		5334		5380		5420		5550		2	5370	2088	
S + A	(g)	4050		4296		4540		4470		4300		2	5370	2088	
γ úmida	(g/cm ³)	1,940		2,057		2,174		2,141		2,059		2	5370	2088	
γ seca	(g/cm ³)	1,808		1,888		1,954		1,890		1,787		2	5370	2088	
Curva de Compactação											Resumo				
											γ _{s,max} (g/cm ³)	1,947			
											W _{ótima} (%)	11,3			
											Observações Gerais:				
											Visto				

Os resultados obtidos a partir do ensaio com o solo natural será levando em consideração para a análise feita com as adições do RCC no intuito de analisar o comportamento do solo.

4.2.1 Solo natural com adição de 10% de RCC.

Para obter o resultado do solo natural com adição de 10% de RCC, os dados de Corpos-de-Prova, iniciou-se com umidade de 4% ocorrendo um acréscimo de umidade de 2% até atingir uma umidade de 12%, assim, através desses resultados permita-se plotar as curvas de compactação representados na mesma figura. Chegou-se aos resultados de umidade ótima de compactação representados pela curva, sendo 1,795 g/cm³ e 9,8%.

Figura 15: 10% RCC – compactação – NBR 7182.

COMPACTAÇÃO - NBR-7182											Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade											1	2	
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C + S + A	(g)	90,4	90,4	94,0	94,0	93,0	93,0	104,3	104,3	111,3	111,3		
C + S	(g)	86,3	86,3	88,5	88,7	86,3	86,3	95,4	95,4	99,9	99,9		
C - Cápsula	(g)	18,2	18,2	17,3	17,3	17,0	17,0	16,5	16,5	17,0	17,0		
A - Água	(g)	4,1	4,1	5,5	5,3	6,7	6,7	8,9	8,9	11,4	11,4		
S - Solo	C	68,1	68,1	71,2	71,4	69,3	69,3	78,9	78,9	82,9	82,9		
w - Umidade	(%)	6,0	6,0	7,7	7,4	9,7	9,7	11,3	11,3	13,8	13,8		
Umidade Média	(%)	6,0		7,6		9,7		11,3		13,8			
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada CP para Homogeneização		
Água Adic.	(g)	200		300		400		500		600		M _{úmida} (g)	5000
% Água Adic.	(%)	4,0		6,0		8,0		10,0		12,0		Nº	Peso
Umidade Calc.	(%)	6,0		7,6		9,7		11,3		13,8		#	Volume
Nº do Molde	#	4		8		3		2		4		(Kg)	(cm ³)
M + S + A	(g)	9230		9440		9520		9470		9500		4	5324
M - Molde	(g)	5324		5440		5407		5324		5324		8	5440
S + A	(g)	3906		4000		4113		4146		4176		3	5407
γ úmida	(g/cm ³)	1,869		1,913		1,969		1,984		1,998		2	5324
γ seca	(g/cm ³)	1,763		1,778		1,795		1,783		1,757		4	5324
Curva de Compactação											17		
											γ _{s,max} (g/cm ³)	1,795	
											W _{ótima} (%)	9,8	
Observações Gerais:													
Visto													

4.2.2 Solo natural com adição de 15% de RCC

No solo natural com adição de 15% de RCC, iniciou-se com umidade de 4% ocorrendo um acréscimo de umidade de 2% até atingir uma umidade de 12%, assim, através desses resultados permite-se plotar as curvas de compactação representados na mesma figura. Chegou-se aos resultados de umidade ótima de compactação representados pela curva, sendo 1,810 g/cm³ e 11,1%.

Figura 16: 15% RCC – compactação – NBR 7182.

Descrição: 15% RCC		Estaca: _____		Reg. N°: _____				
Trecho: _____		Prof (m): _____		Amostra: _____				
Energia: _____		N° Golpes: 12		Soquete: Grande				
Energia: _____		Soquete: Grande		Molde: Grande				
COMPACTAÇÃO - NBR-7182						Umidade Higroscópica		
Teor de Umidade								
N° Cápsula	#	1	2	3	4	5	1	2
C + S + A	(g)	76,0	81,2	80,1	91,3	123,3		
C + S	(g)	72,3	76,1	74,0	83,5	109,4		
C - Cápsula	(g)	17,2	17,6	18,3	22,5	17,1		
A - Água	(g)	3,7	5,1	6,1	7,8	13,9		
S - Solo	(g)	55,1	58,5	55,7	61,0	92,3		
w - Umidade	(%)	6,7	8,7	11,0	12,8	15,1		
Umidade Médi:	(%)	6,7	8,7	11,0	12,8	15,1		
Dados de Compactação dos Corpos de Prova						Material Usado em Cada CP para Homogeneização		
Água Adic.	(g)	300	400	500	600	700	M _{úmida} (g)	5000
% Água Adic.	(%)	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0		
Umidade Calc.	(%)	6,7	8,7	11,0	12,8	15,1	N°	Peso
N° do Molde	#	25	25	13	20	11	#	(cm)
M + S + A	(g)	8940	9240	9500	9450	9100	25	2083
M - Molde	(g)	5324	5324	5312	5360	5455	25	2088
S + A	(g)	3616	3916	4188	4090	3866	13	2087
γ úmida	(g/cm ³)	1,736	1,875	2,007	1,962	1,852	20	2085
γ seca	(g/cm ³)	1,627	1,725	1,809	1,739	1,610	11	2087
Curva de Compactação						Resumo		
						γ _{s,max} (g/cm ³)	1,810	
						W _{ótima} (%)	11,1	
						Observações Gerais:		
						Visto		

4.2.3 Solo natural com adição de 20% de RCC.

O solo natural de 20%, os dados de Corpos-de-Prova iniciou-se com umidade de 4% ocorrendo um acréscimo de umidade de 2% até atingir uma umidade de 12%, dessa maneira, através desses resultados permita-se plotar as curvas de compactação representados na mesma figura. Chegou-se aos resultados de umidade ótima de compactação representados pela curva 1,800 g/cm³ e 10,0%.

Figura 17: Solo Arenoso 20% RCC – Compactação – NBR 7182.

COMPACTAÇÃO - NBR-7182											Umidade Higroscópica			
Teor de Umidade														
Nº Cápsula	#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	
C + S + A	(g)	67,5	67,5	90,5	90,5	74,0	74,0	75,0	75,0	65,6	65,6			
C + S	(g)	64,9	64,9	85,4	85,4	69,1	69,1	68,6	68,6	59,4	59,4			
C - Cápsula	(g)	16,6	16,6	17,2	17,2	20,3	20,3	17,3	17,3	17,8	17,8			
A - Água	(g)	2,6	2,6	5,1	5,1	4,9	4,9	6,4	6,4	6,2	6,2			
S - Solo	C	48,3	48,3	68,2	68,2	48,8	48,8	51,3	51,3	41,6	41,6			
w - Umidade	(%)	5,4	5,4	7,5	7,5	10,0	10,0	12,5	12,5	14,9	14,9			
Umidade Médi:	(%)	5,4		7,5		10,0		12,5		14,9				
Dados de Compactação dos Corpos de Prova											Material Usado em Cada CP para Homogeneização			
Água Adic.	(g)	200		300		400		500		600		M _{úmida} (g)		5000
% Água Adic.	(%)	4,0		6,0		8,0		10,0		12,0		Nº	Peso	Volume
Umidade Calc.	(%)	5,4		7,5		10,0		12,5		14,9		#	(cm)	(cm ³)
Nº do Molde	#	17		15		7		11		17		17	5383	2087
M + S + A	(g)	9010		9320		9520		9560		9360		15	5507	2085
M - Molde	(g)	5360		5507		5534		5554		5383		7	5534	2086
S + A	(g)	3650		3813		3986		4006		3977		11	5554	2088
γ úmida	(g/cm ³)	1,749		1,829		1,911		1,919		1,906		17	5383	2087
γ seca	(g/cm ³)	1,660		1,702		1,736		1,706		1,658				
Curva de Compactação													γ _{s,max} (g/cm ³)	1,736
													W _{ótima} (%)	10
													Observações Gerais:	
													Visto	

Sendo que este solo foi o que apresentou resultados onde mais se aproxima do solo natural.

4.3 COMPRESSÃO DO SOLO COM A ADIÇÃO DE RCC.

Segundo a norma DNIT 143/2010 - ES na letra “m” relacionado ao documento indispensável à aplicação da norma da pavimentação em base de solo-cimento e especificação do serviço, o material proveniente de mistura de solo, cimento e água em proporções de dosagem em laboratório, deve apresentar determinadas características de resistência e durabilidade.

Nas condições específicas do material o solo empregado na execução de base de solo-cimento devem ser os provenientes de ocorrências de materiais, cujo apresentam as seguintes características quando submetidos aos ensaios do DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94:

Figura 18: Características do solo.

Peneiras	Porcentagem	Tolerância
2½"	100 %	-
Nº 4	50 a 100 %	± 5%
Nº 40	15 a 100 %	± 2%
Nº 200	5 a 35 %	± 2%
Limite de liquidez	máximo 40%	
Índice de plasticidade	máximo 18%	

Fonte: DNIT 143/2010.

Neste esteio, a camada base ideal obtida mediante a utilização de solo-cimento, foi determinada embasada nos resultados dos ensaios nos quais foram acionadas as porcentagens de 3%, 5% e 7% respectivamente, como mostra os resultados seguintes.

4.4CBR DO SOLO NATURAL COM ADIÇÃO DE RCC E TEOR DE CIMENTO

De acordo com o DNER-ME 049/94 – Solos – Determinação do índice de Suporte Califórnia, que determina o valor relativo do suporte de solos, utilizando-se amostras deformadas não trabalhadas de material que passa na peneira de 19 mm, correspondente à umidade ótima e massa específica máxima seca, obtidas nas condições que o método estabelece.

Figura 22: Índice de Suporte Califórnia solo natural.

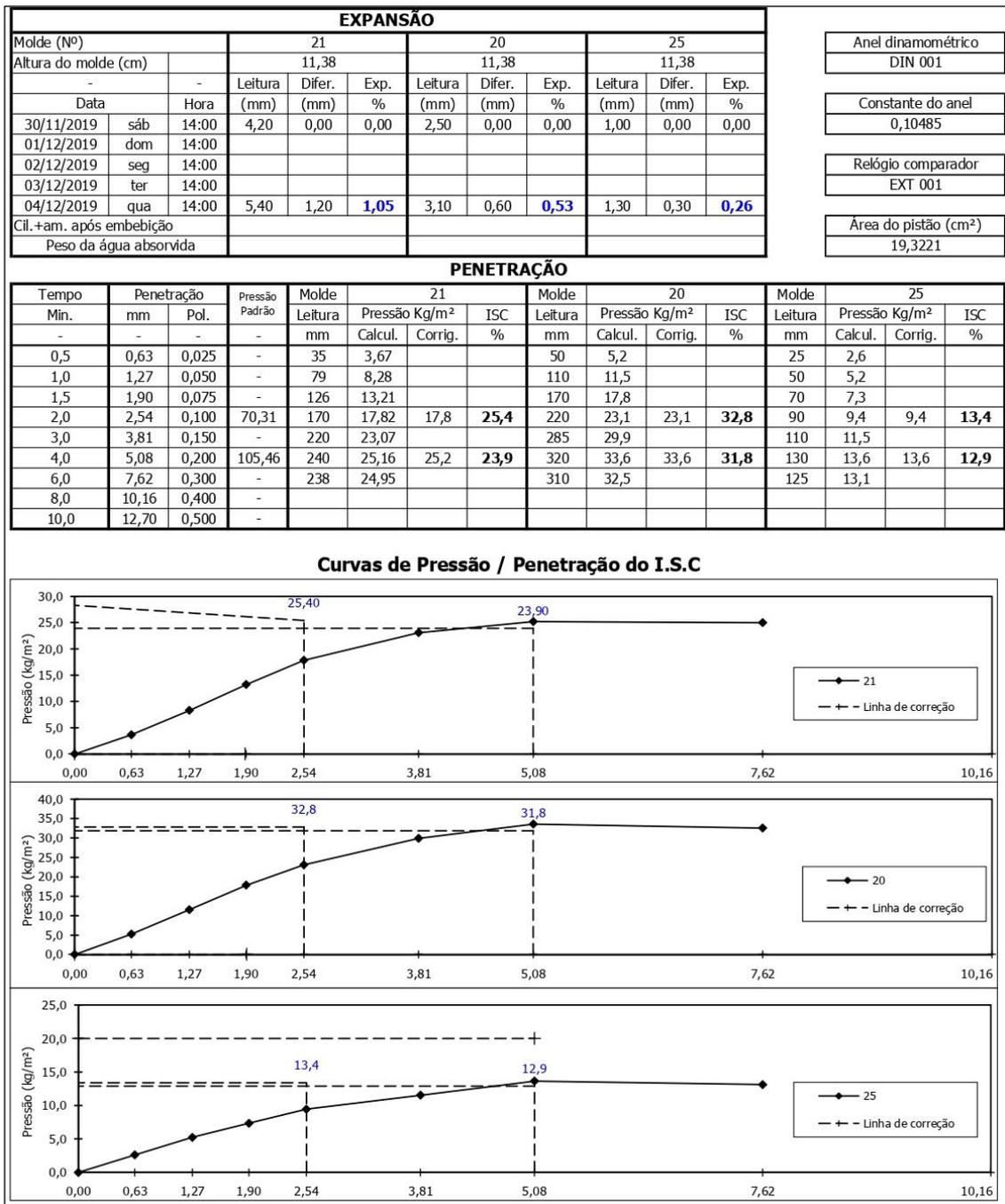
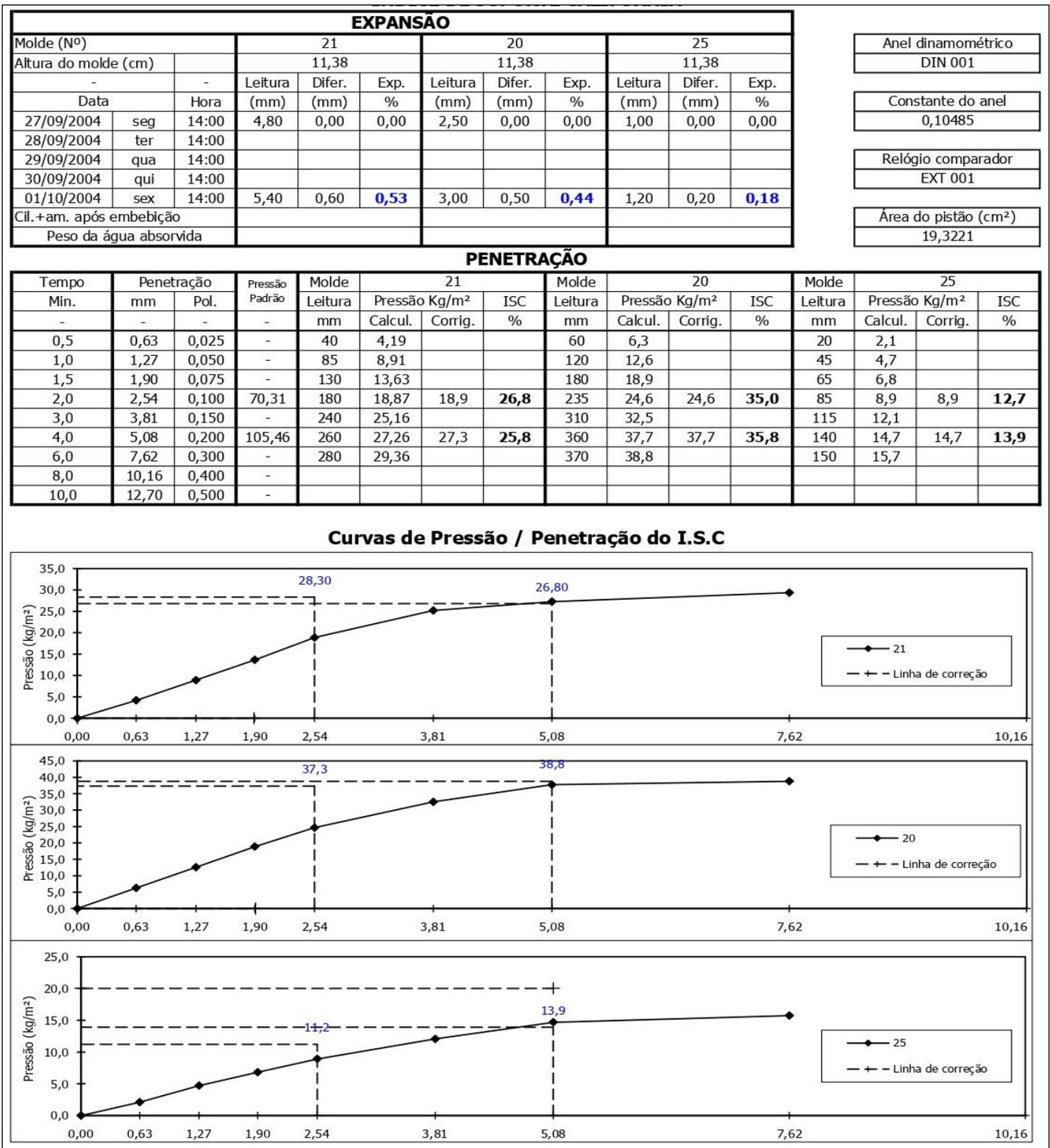
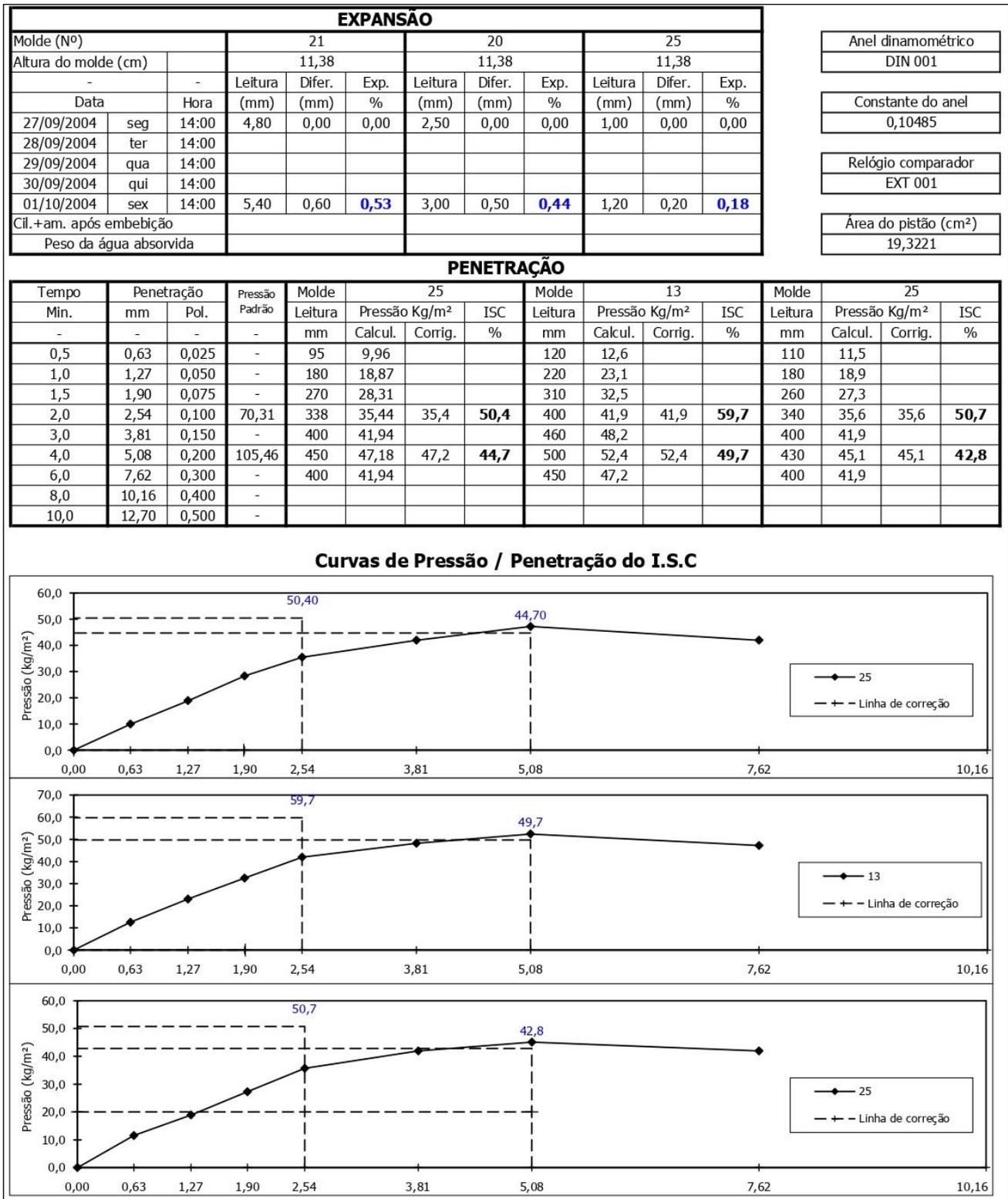


Figura 23: Índice de Suporte Califórnia 10% RCC e 3% cimento.



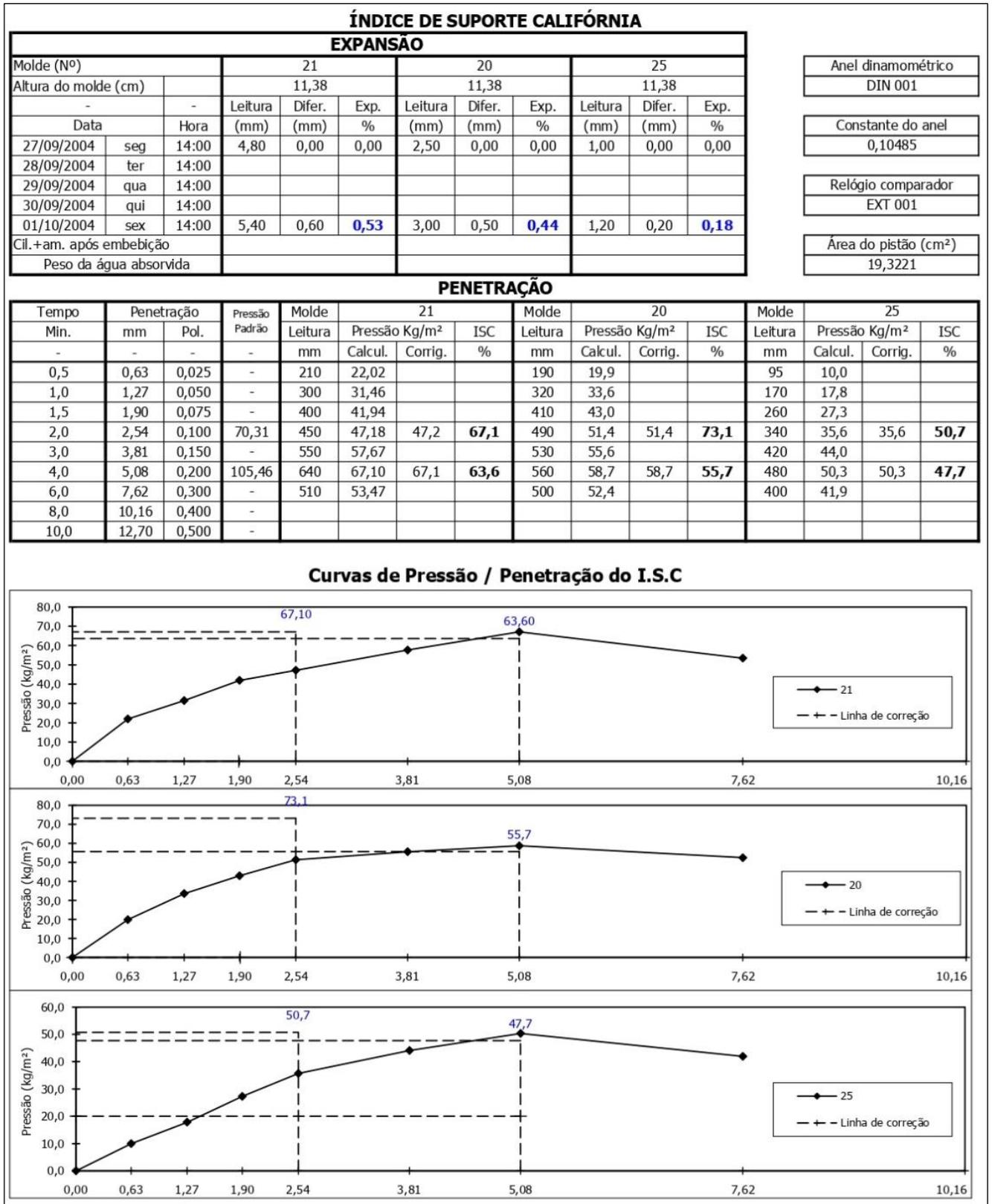
Nesse primeiro ensaio foi observado que mesmo a expansão esta atingindo o solicitado pela norma do DNER, o índice de penetração não conseguiu atingira os 60% para base em baixo tráfego.

Figura 24: Índice de Suporte Califórnia 15% RCC e 5% cimento.



Este ensaio já apresentou uma melhoria da amostra em comparação com a mostra que utilizou 10% RCC e 3% cimento, entretanto também não conseguiu atingir o necessário na penetração só atingindo 49,7%.

Figura 25: Índice de Suporte Califórnia 20% RCC e 7% cimento.



Este ensaio apresentou todos os resultados necessários de acordo a DNER-ME 049/94, apresentando um índice de 0,44% de expansão e 67,1% de penetração.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi feito a análise de eficiência para a utilização do RCC na composição da crista de uma lagoa de resíduo agrícola, englobando os ensaios de granulometria, compressão, compactação e CBR. Foram utilizadas 100 kg de RCC proveniente da usina de reciclagem em Palmas - TO, e de solo natural retirado do local a ser executado na lagoa estudada.

A destinação do RCC será a unidade 1 da DU POINT PIONER em Porto Nacional – TO, em que a construção implicará em parte de aterro convencional e a segunda parte será composta por uma combinação de RCC, cimento e solo natural.

Referente ao ensaio de granulometria, o material natural com 20% de RCC na amostra foi classificado, tendo por base a tabela do DNIT (Figura 10: Sistema unificado de classificação de solos), como um solo Pedregulhos Argilosos, ou mistura de pedra, areia e argila.

De acordo com a classificação para a utilização deste material verificou-se a necessidade da adição de teor de cimento para a estabilização do material, o que levou a execução dos ensaios de compressão, onde este foi baseado na norma do DNIT solo cimento. Com os resultados observou-se que 7% de cimento na amostra atingem o recomendado.

A análise de compactação utilizado em 20% de RCC na amostra comparado com a amostra utilizando apenas solo natural, os resultados são compatíveis para se chegar nas condições desejadas de solo natural, ou seja, os valores levantados são aceitos, pois o mesmo reflete em materiais com menor permeabilidade (mais plástico), cujo necessitará de menores quantidade de água para se chegar a coesão do material.

Por fim, foi analisado o Índice de Suporte Califórnia deste material, na qual se obteve o que é exigido por norma do DNIT, pois é necessário alcançar no máximo de 0,5% de expansão e no mínimo 60% de penetração, os quais a amostra com adição de 20% de RCC com 7% de cimento atingiu-se 0,44% de expansão e 73,1% de penetração.

Concluiu que o material com 20% de RCC e 7% de adição de cimento supre o desejado, tornando viável este estudo proposto, para a construção da crista da lagoa supracitada.

6. REFERÊNCIAS

ABRECON. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. Relatório de Pesquisa setorial [Artigo] - 2014/2015. - p. 36.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7181:1984** – Solo – Análise granulométrica; [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1984.

_____.NBR 7182:1984 – Solo – Ensaio de compactação [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1984.

_____.NBR 7185:1986 – Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ” com emprego do frasco de areia; [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1986.

_____. NBR 7218:1987 – Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis; [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1987.

_____. NBR 7809:1983 – Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1983.

_____. NBR 9936:1987 – Agregados – determinação do teor de partículas leves [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1987.

_____.NBR NBR 6457:1984 – Amostra do solo – Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1984.

_____.NBR 9895:1987 – Solo – Índice de suporte Califórnia [Relatório]. - Rio de Janeiro : [s.n.], 1987.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M.G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. P. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro. Abeda, 2008.

CUNHA JUNIOR, N. B. Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil. Belo Horizonte: SINDUSCON/MG, 2005.

FERREIRA, Alice Cristina Alves. et al. Gestão de resíduos sólidos na construção civil. **Revista Pensar Engenharia**, v.2, n.2, jul. 2014.

GÜNTHER, W.M.R. Saúde Ambiental comprometida pelos resíduos sólidos. In: Seminário Sobre Resíduos Sólidos RESID’99. São Paulo, 1999, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1999.

HERRADOR, R.; Pérez, P.; Garach, L.; Ordóñez, J. Use of **Recycled Construction and Demolition Waste Aggregate for Road Course Surfacing**. Journal of Transportation Engineering. 2012.

LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

MARQUES NETO, J.C. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15)**. 699p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

MARTINS, F. G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte: estudos de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

MIRANDA, L. F. R. et al. **A Reciclagem de Resíduos de construção e demolição no Brasil**: Revista Ambiente Construído. Porto Alegre. V.9, n. 1, 2009.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentos de baixo volume de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

PINTO P. T. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana [Relatório]** : Tese / Doutorando em Engenharia ; Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. - São Paulo : [s.n.], 1999.

PINTO, T. P. et al. **Ministério das Cidades. Manejo e gestão de resíduos da construção civil**: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios. Vol 1. 196 p. Brasília: Caixa, 2005.

PINTO, T. P. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil**: a experiência do Sinduscon-SP, São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP, 2005.

PROENÇA, Lucio Costa. **Gestão e Reuso do Resíduo Classe A**. Florianópolis, SC. Ministério do Meio Ambiente. 2013.

ROHM, Daniel Gobato. et al. **Gestão dos resíduos da construção civil (RCC) em canteiros de obras de empresas construtoras da cidade de São Carlos – SP, Brasil**. Universidade Federal de São Carlos (Departamento de Engenharia Civil), SP. 2013.

SINDUSCON. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. **Resíduos da Construção Civil e o Estado de São Paulo**. Coord. de Planejamento Ambiental. Comitê de Meio Ambiente do Sinduscon – SP, 2012.