



**FAPAC – FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

RAFAELA SANTIAGO SILVA

**ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SOLO COM RESÍDUO DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA USO EM RODOVIAS VICINAIS**

PORTO NACIONAL-TO

2018

RAFAELA SANTIAGO SILVA

**ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SOLO COM RESÍDUO DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA USO EM RODOVIAS VICINAIS**

Projeto apresentado ao curso de Engenharia Civil do ITPAC, como requisito parcial para a obtenção de título em Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Flávio Vieira da Silva Júnior.

PORTO NACIONAL-TO

2018

RAFAELA SANTIAGO SILVA

**ESTABILIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE SOLO COM RESÍDUO DE
CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA USO EM RODOVIAS VICINAIS**

Projeto apresentado ao curso de Engenharia Civil do ITPAC, como requisito parcial para a obtenção de título em Bacharel em Engenharia Civil.

Data da aprovação: ____/____/____

APROVADO ()

REPROVADO ()

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Flávio Vieira da Silva Júnior.

Prof.^a Me. Silvia Barroso Gomes Souto

Prof.^a Tais Gomes

PORTO NACIONAL-TO

2018

Resumo

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados em quantidades consideráveis, principalmente nas médias e grandes cidades e muitas vezes são descartados irregularmente, trazendo assim à tona a preocupação em função de questões ambientais e econômicas. Desta forma a reciclagem desses resíduos para serem utilizados como agregado se torna uma proposta contundente.

O presente trabalho tem por objetivo analisar uma pavimentação asfáltica com reaproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) avaliando para a utilização em camadas de base, sub-base ou reforço de subleito de pavimento.

Será analisado aspectos físicos e de comportamento mecânico do agregado em questão reciclado utilizando ensaios laboratoriais e métodos empíricos do manual de pavimentação do DNIT, e também utilizando o software MEDINA, comparando os resultados ao final.

Tem como intuito de que se reduzam os custos e gastos para a execução da uma pavimentação asfáltica oferecendo assim um destino adequado para esses resíduos, diminuindo a quantidade de entulhos gerados, e consequentemente, amenizando o impacto ambiental.

Palavras chave: Pavimentação. Reaproveitar. Reciclagem. Demolir. Impacto Ambiental.

Abstract

Construction and demolition wastes (CDWs) are generated in considerable quantities, mainly in medium and large cities and are often discarded irregularly, thus raising concerns about environmental and economic issues. In this way the recycling of these residues to be used as an aggregate becomes a strong proposal.

The present work aims to analyze an asphalt paving with reuse of construction and demolition waste (CDW) evaluating for the use in base layers, sub-base or reinforcement of pavement subgrade.

Physical and mechanical behavior of the recycled aggregate in question will be analyzed using laboratory tests and empirical methods from the DNIT paving manual, and also using the MEDINA software, comparing the results at the end.

Its purpose is to reduce the costs and expenses for the execution of an asphaltic paving thus offering a suitable destination for these residues, reducing the amount of debris generated, and consequently, mitigating the environmental impact.

Keywords: Paving. Reapprove. Recycling. Demolish. Environmental impact.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação custo por m ³ de base e sub-base de pavimento utilizando material convencional e material reciclado misturados com solo do próprio local.....	19
Figura 2 - Fatores de equivalência de operação.....	25
Figura 3 - Determinação de espessuras do pavimento.....	27
Figura 4 - Dimensionamento do pavimento.....	28
Figura 5 - Prensa para índice de Suporte Califórnia.....	29
Figura 6 - Curva pressão – penetração.....	30
Figura 7 - Curvas de massa específica - umidade e CBR-umidade.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classificação dos RCD segundo as Resoluções 307, 348 e 431 do CONAMA.....	20
TABELA 2 - Granulometria dos materiais.....	23
TABELA 3 - Determinação do fator de operações.....	25
TABELA 4 - Coeficiente de equivalência estrutural.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

RCD - Resíduos de construção e Demolição
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISC – Índice de suporte Califórnia
NBR – Norma Brasileira
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
RT - Resistência à Tração
RTu - Resistência ao dano por Umidade Induzida – LOTTMAN
LL - Limite de Liquidez
LP - Limite de Plasticidade
MR – Módulo de Resiliência
DERMU - Departamento de Estradas de Rodagem do Município
AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
(Associação Americana de Rodovias do Estado e Funcionários de Transporte)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	12
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO A SER UTILIZADO NAS MISTURAS	13
3.3	DOSAGEM DAS MISTURAS DE SOLO COM RCD PARA A UTILIZAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	14
3.4	DETERMINAÇÃO A RESISTÊNCIA DA MISTURA SOLO COM RCD	15
3.5	MÉTODO EMPÍRICO PARA DIMENSIONAR AS CAMADAS DO PAVIMENTO	16
3.6	DIMENSIONAR AS CAMADAS DO PAVIMENTO PELO MÉTODO EMPÍRICO MECANÍSTICO	17
3.7	CONCLUSÕES PARCIAIS.....	18
4	METODOLOGIA.....	20
4.1	COLETA DE MATERIAL	20
4.2	METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO NORMATIVA DOS RESÍDUOS.....	20
4.3	METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO A SER UTILIZADO NAS MISTURAS.....	21
4.4	METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO E RESISTÊNCIAS	22
4.4.1	Método convencional Empírico (DNIT).....	22
4.4.1.2	Ensaio de CBR.....	28
4.4.1.3	Ensaio de Granulometria.....	31
4.4.2	Método Mecanístico utilizando o software MEDINA	35
5	CRONOGRAMA.....	36
6	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Pavimento é uma estrutura constituída por camadas e construída sobre a superfície final de terraplenagem, designada a resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima de forma econômica.

A função dos pavimentos é obter uma melhoria para o tráfego, sendo uma superfície que garanta o melhor conforto (mais regular), maior segurança (mais aderente em pistas úmidas ou molhadas), melhor conforto ambiental (menos ruidosa). Sem estradas adequadas, o País não possibilita acesso aos bens para a população, assim como se torna uma região que não faz parte das nações desenvolvidas, sendo que, no Brasil, devido à infraestrutura rodoviária ser ultrapassada, demonstrando baixa tecnologia a serviço, o país é considerado atrasado como sociedade moderna. (BALBO, 2007).

A quantidade de resíduos sólidos oriundos da construção civil sendo lançados no ecossistema vem apresentando um crescente aumento durante a última década, fazendo com que haja uma preocupação significativa devido à disposição final dos mesmos, e seus efeitos ao meio ambiente, sendo que um meio a ser utilizado, para se melhorar a malha rodoviária de forma eficaz e com redução dos custos é a reciclagem, neste caso utilizando o RCD (Resíduos de Construção e Demolição) em camadas de pavimentação asfáltica.

Com base na abordagem e peculiaridades dos agregados reciclados, estes possuem muitas vantagens para a utilização na área de pavimentação, podendo ser usado em seja qual for camada do pavimento, relatando que “Procuram-se soluções de baixo custo ao mesmo tempo em que se assegura a qualidade técnica da obra”, devido a isso, têm-se vários estudos para emprego desses materiais alternativos (RCDs) na aplicação da estrutura do pavimento (DELONGUI, 2016).

O presente trabalho tem o intuito de analisar o comportamento mecânico com ensaios laboratoriais e parâmetros para utilização desses resíduos de construção e demolição (RCD) na pavimentação asfáltica a fim de reduzir os passivos ambientais causados, proporcionando uma vida melhor para a população, tanto pelo impacto ambiental, como para a melhoria dos pavimentos, para que haja um deslocamento mais prático, seguro, de forma mais econômica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar análise mecânica quanto à utilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) em camadas de base, sub-base ou reforço de subleito de um pavimento asfáltico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os resíduos de construção e demolição;
- Caracterizar o solo a ser utilizado nas misturas;
- Dosar as misturas de solo com RCD para a utilização na pavimentação asfáltica;
- Determinar a resistência da mistura solo com RCD;
- Dimensionar as camadas do pavimento pelo método empírico;
- Dimensionar as camadas do pavimento pelo método empírico mecanístico;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão discutidos aspectos gerais sobre os resíduos da construção. Resultados de diversas pesquisas serão utilizados para descrever as características e avaliar suas particularidades ao emprega-los em pavimentos asfálticos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

As usinas de reciclagem tiveram início no Brasil nos anos 90, porém ainda não havia normas para a utilização de agregados reciclados na pavimentação. A Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) divulgou em 2002 a seguinte especificação: “Camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil”, e em 2004 foi divulgada a norma de procedimentos para a execução de camadas de pavimentação com agregados reciclados de resíduos da construção civil pela ABNT, a NBR 15115, em que foi fundamentada pela especificação paulista (MOTTA, 2005).

A primeira via pavimentada com resíduo de construção e demolição (RCD) foi em 1984, na cidade de São Paulo, localizada na Rua Gervásio da Costa, determinada por um baixo volume de tráfego, em que a camada do reforço do subleito e sub-base recebeu o RCD. A execução e acompanhamento da obra foram por meio de parceria entre a Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), apresentando na época um ótimo desempenho (MOTTA, 2005, apud BODI et al., 1995).

O Brasil é um grande produtor de resíduos de construção civil, e têm como consequência problemas logísticos e prejuízos financeiros, pois os mesmos causam um grande dano a natureza. A origem dos resíduos sólidos de acordo com Nagalli (2014) vem da indispensabilidade da utilização dos recursos naturais para atender as necessidades do ser humano, uma vez que ao longo dos anos, a apropriação desses recursos aumentou com o surgimento da moeda na Revolução Industrial.

Conforme a Resolução CONAMA Nº 307/2002, são denominados entulhos de obras, os resíduos de construções e demolições oriundos de obras da construção civil, sendo os entulhos todos aqueles materiais que foram utilizados nas

obras e descartados, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, metais, tintas, madeiras, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, fiação elétrica, tubulações, entre outros.

O agregado a ser aproveitado (reciclado) é aquele em que passou por um processo de melhoramento e separação dos resíduos de construção para a sua utilização em obras de engenharia.

O potencial dos resíduos para a reciclagem Segundo Dias (2004), abrange fatores químicos, físicos e mecânicos que afetam na qualidade e durabilidade das aplicações, levando em consideração os fatores tecnológicos, o conhecimento de sua composição e caracterização, pois são fundamentais para a escolha das prováveis aplicações desses resíduos.

Tendo em vista esses aspectos, e vários acompanhamentos de trabalhos, notou-se que para a utilização de agregados reciclados dos resíduos de construção e demolição para pavimentos, os concretos, a argamassa, e outros, possuem um grande potencial, ao contrário dos agregados cerâmicos que possuem restrição de uso.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO A SER UTILIZADO NAS MISTURAS

Em Belo Horizonte, desde 1996 vem sendo executado base e sub-base de pavimentos com agregados reciclados de RCD, baseados no Índice de Suporte Califórnia (ISC) e na experiência dos Engenheiros do município (FERNANDES, 2004). A Secretaria de Serviços Urbanos da Prefeitura Municipal consta que foram empregadas cerca de 137 mil toneladas, sendo 271 ruas criadas e reconstruídas, possuindo um total de 400 km de ruas, desde 1996 até julho de 2001 (DIAS, 2004).

O reforço do subleito, sub-base e base composto por agregado reciclado e próprio para a utilização em pavimento é o material granular proveniente através de britagem ou beneficiamento mecânico (ABNT NBR 15115:2004).

Os resíduos sólidos da construção civil em que são apropriados para a execução de camadas de reforço do subleito, sub-base ou base mista, são os resíduos oriundos de construções, reformas, reparos ou demolições de obras, em que esses resíduos são determinados pela resolução CONAMA nº 307/2002 como Classe "A", sendo eles: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, rocha, argamassas, telhas, pavimentos asfálticos, entre outros.

Os resíduos que não são considerados apropriados e que devem ser evitados são aqueles que possuem presença de solo, madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas, papéis, materiais orgânicos e não inertes classificados como Classe “B”, “C” e “D” pela resolução CONAMA nº 307/2002.

Sousa et al., (2015), utilizaram agregados em três granulometrias diferentes, sendo eles: areia reciclada, pedrisco e brita. Com estes materiais coletados obteve-se a caracterização e realização dos ensaios atendendo os seguintes requisitos: boa graduação granulométrica, valores mínimos de índice de Suporte Califórnia (ISC) e de expansão, e dimensão máxima características de 63,5 mm. Os ensaios da análise granulométrica foram realizados conforme as normas DNIT (1994) e DNER (1998), o de abrasão Los Angeles de acordo com DNIT (1998), e a determinação do índice de forma e do Índice de Suporte Califórnia com base no DNER (1994).

Sobre as propriedades significativas do agregado reciclado para a aplicação nas obras de pavimentação, Ribeiro (2006) afirma que um modo geotécnico é um material não plástico (não produz lama) auxiliando assim na estabilização dos solos, demonstrando expansibilidade baixa ou nula, em que não acontece a expansão das camadas compactadas sob saturação.

3.3 DOSAGEM DAS MISTURAS DE SOLO COM RCD PARA A UTILIZAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Tendo em vista todo um estudo, de autores como Sousa et al., (2015), onde foi realizado ensaios e a avaliações de várias combinações, admitiu-se o traço: 40% de brita reciclada 19mm, 30% pedrisco reciclado 9,5 mm e 30% de pó de pedra reciclado 4,8mm, afirmando assim que “Com esta dosagem, a mistura está enquadrada na “faixa A” nas faixas de granulometria do DNIT (2010) para execução de base para pavimentação”, tendo como conclusão os ótimos resultados alcançados dos materiais reciclados nos ensaios, respeitando os padrões estabelecidos pela norma para o uso nas camadas de reforço de subleito, sub-base e base, sendo recomendado para vias de baixo ou médio volume de tráfego.

Silva, et al (2013), verificaram a dosagem da mistura de solo com RCD a ser utilizada na pavimentação através do ensaio Marshall de acordo com a Norma

do DNIT ME 043/95, definindo o teor de projeto para cada mistura (em que foi analisado 45 corpos de prova com porção de RCD de 0%, 3,9% e 6,5% do agregado miúdo), definindo um gráfico de teor asfáltico, e em seguida, analisaram se as propriedades volumétricas estão dentro dos padrões da norma. Silva, et al (2013), através das análises feitas, concluíram baseando na norma DNIT 031/2006 que somente a mistura de RCD com 3,9% está de acordo.

Sobre os materiais cerâmicos Sousa et al., (2015) disserta das características lamelares do agregado reciclado, em que possuem também argamassas, entre outros, fazendo com que o torne mais poroso que o natural, sendo assim para grãos de forma lamelar a porcentagem máxima admissível é de 30%, conforme a norma ABNT (2006).

3.4 DETERMINAÇÃO A RESISTÊNCIA DA MISTURA SOLO COM RCD

Carneiro et al., (2001) relata sobre um solo que foi empregado no Projeto Entulho Bom, sendo este solo saprolítico, em que ao ser adicionado o agregado reciclado apresentou ganhos relevantes de resistência e redução de expansão, e que este agregado reciclado mostrou-se como um estabilizador de solos plásticos, enquanto que nas misturas com solo laterítico não apresentou ganhos de resistência.

No trabalho de Silva et al (2015), verificaram que a resistência e a durabilidade do pavimento com agregado reciclado obteve ótimos resultados, em que os mesmos não foram afetados. Sendo assim, eles concluem que: “Do ponto de vista financeiro o uso de agregados traz benefícios em diferentes aspectos”.

Silva et al (2013), analisaram em Campina Grande o comportamento mecânico do agregado reciclado para a utilização em misturas asfálticas adicionando 3,9% de RCD e comparando com a incorporação de 6,5% sem RCD. Observaram que a Resistência à Tração por Compressão Diametral (RT) obteve um aumento na incorporação dos 3,9% de RCD e uma perda quando acrescido os 6,5% sem RCD, em que os valores encontrados da porcentagem sem RCD estão dentro do padrão determinado pela norma. A Resistência ao dano por Umidade Induzida – LOTTMAN (RTu) com o uso de agregado reciclado é restritivo devido a vulnerabilidade a água, e se comportou da mesma forma da RT com e sem RCD. Sendo assim, concluíram que as misturas asfálticas com 3,9% de RCD obteve um

desempenho melhor que as misturas de 6,5% sem RCD, mesmo dentro dos padrões das normas.

Ribeiro (2006) verificou em Goiânia-GO o comportamento do agregado reciclado da camada de base de um pavimento concretizado como pista experimental, em que se notou em certo intervalo de tempo o aumento da resistência deste pavimento, sendo uma provável causa as reações químicas do agregado reciclado. Outro fator analisado é que em relação aos bordos da pista, o eixo apresentou resistência superior, podendo estar associado à ausência de drenagem superficial ou a forma incorreta de compactação durante a sua construção.

3.5 MÉTODO EMPÍRICO PARA DIMENSIONAR AS CAMADAS DO PAVIMENTO

O método empírico convencional de acordo com o manual de pavimentação do DNIT (2006) requer para o reforço do subleito os ensaios de CBR, Granulometria, Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), para sub-base $ISC3 \geq 20$ com granulometricamente estável e base LL máximo, Índice de Plasticidade (IP) 25% sendo 6%, mínimo de areia 30% com estabilidade granulométrica, sendo que para qualquer classe de tráfego o Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou $CBR \geq 60$.

Ribeiro (2006) em sua pesquisa analisou através de ensaios laboratoriais um pavimento desenvolvido para teste em Minas Gerais em que sua base foi realizada com RCD britado com variadas granulometrias, possuindo três cm de revestimento e 15 cm de base.

Para os limites de Consistência foram realizados ensaios de determinação dos limites de Atterberg (ω_L e ω_P) pelas NBR 6.459 (ABNT, 1984a) e pela NBR 7.180 (ABNT, 1984b), o limite de liquidez foi determinado pelo aparelho de Casagrande em que a mistura agregado reciclado e solo para a utilização em pavimentação está dentro dos padrões, sendo $\omega_L = 25,4\%$ e do solo local $\omega_L = 33,7\%$, já os limites de plasticidade obtidos através do ensaio de plasticidade em que molda um cilindro, a combinação de agregado reciclado e solo deu-se por $\omega_P = NP$, ou seja, não plástico (não apresentou plasticidade), e logo se obteve o índice de plasticidade ($IP = \omega_L - \omega_P$) em que o agregado reciclado e solo são NP e o solo local tem-se 9% (RIBEIRO, 2006).

Ainda Ribeiro (2006) afirma que a granulometria do agregado reciclado mais o solo em comparação a do solo local obteve aumento na porcentagem de pedregulho e diminuição no teor de finos (silte e argila), com isso de acordo com a NBR 15.116 (ABNT, 2004e) todas as observações analisadas estão dentro dos padrões especificados pela norma, sendo elas $C_u < 10$, dimensão máxima característica < 63 mm e material passante na peneira 0,42 variando entre 10 e 40%, no entanto com essas informações adquiridas averiguou se a granulometria da mistura agregado reciclado e solo exerce acordo com o que foi determinado em projeto da via pavimentada pelo DERMU.

De acordo com as normas do DNIT (2006) para os materiais serem usados na pavimentação, a expansão deve ser para subleito e/ou reforço do subleito $< 2\%$, sub-base $< 1\%$ e base $< 0,5\%$, sendo assim, o solo sozinho não atende essas especificações, e a mistura o agregado reciclado e solo com valor de CBR na umidade ótima, pode-se ser utilizado como sub-base (CBR $> 20\%$) e em base para vias com baixo volume de tráfego (CBR $\sim 40\%$).

3.6 DIMENSIONAR AS CAMADAS DO PAVIMENTO PELO MÉTODO EMPÍRICO MECANÍSTICO

Oliveira (2014) apud Bernucci et al (2008), relata que para o dimensionamento de projetos de pavimentos asfálticos o módulo de resiliência (MR) possui ampla importância, pois representa o CBR na estimativa de cálculos elaborado pelo estudo norte-americano AASHTO até 1986, sendo que o MR em múltiplas camadas pode ser empregada uma análise mecanística, reconhecido internacionalmente e provém de análises rápidas e não agressiva.

O ensaio para a caracterização do módulo de resiliência é a aplicação constante de uma carga no plano diametral vertical em um corpo-de-prova originando uma tensão de tração em misturas asfálticas (DNER 131/94 e ASTM D4123).

Fernandes (2004) determinou mecanicamente os agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para empregá-los em bases e sub-bases de pavimentos, acatando as limitações ambientais. Para o dimensionamento mecanístico foram executados ensaios fundamentais considerados na norma NBR, e quanto ao aspecto ambiental foram efetuados

ensaios de Lixiviação e Solubilização. Os agregados reciclados empregados são: concreto (beneficiamento de RCD, fração gráuda 90% no mínimo em massa no mínimo de fragmento a base de cimento Portland e rochas) e misto (sua fração gráuda 90% no máximo em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas).

Hortegal et al., (2009) introduziram recomendações para a utilização dos RCD na pavimentação, sendo: a realização de ensaios de propriedades mecânicas (deformação permanente, resistência à tração por compressão diametral, resistência por compressão simples, e módulo de resiliência), ensaios de controle tecnológico (construir trechos experimentais) e investigação das propriedades mecânicas do agregado reciclado com a interferência de materiais cerâmicos.

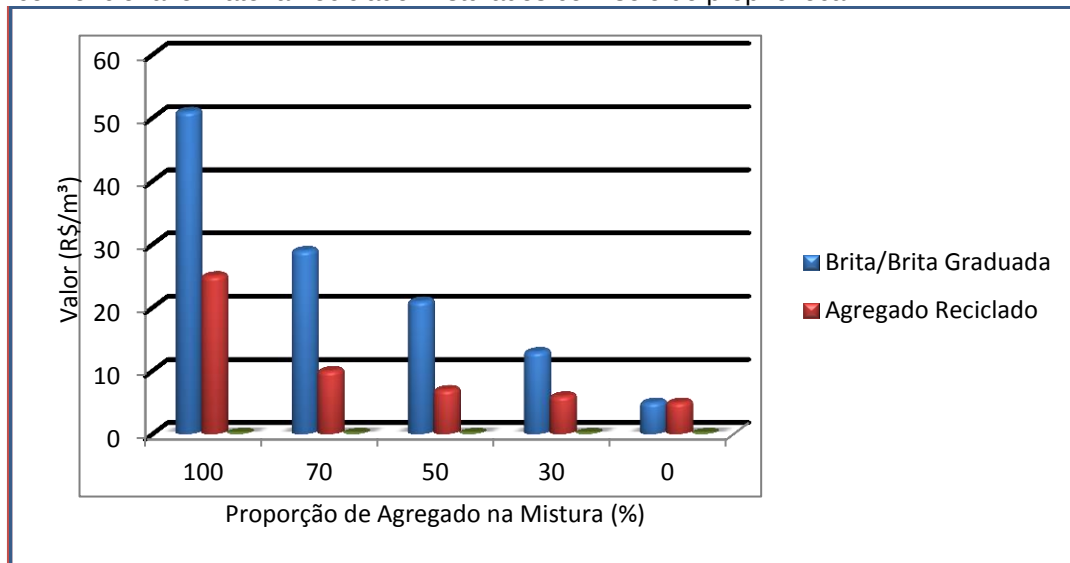
3.7 CONCLUSÕES PARCIAIS

Silva et al., (2015), através de análises feitas sobre vários trabalhos, concluíram que a resistência e a durabilidade do pavimento não são afetadas pelo agregado reciclado utilizado como base, sub-base e reforço de subleito, e que o emprego destes agregados traz benefícios financeiros em vários aspectos (custo material reciclado mais em conta), assim como benefícios ambientais (obtendo uma destinação para esses resíduos e redução na extração da matéria).

Carneiro et al., (2001), se fundamentou nos custos por metro cúbico de obras que foram elaboradas pela Prefeitura de Salvador em abril e maio do ano de 2000, para verificar os custos de execução de pavimentos com materiais padrões (brita) e com agregados reciclados. Nesta verificação, notou-se que o custo de construção com agregado reciclado para as camadas de base e sub-base, obteve um custo consideravelmente inferior as camadas com materiais convencionais, sendo uma economia de 50 a 62% utilizando esses agregados reciclados para camadas de bases e sub-base na pavimentação asfáltica.

Fernandes (2004) concluiu que os agregados reciclados atendem aos três fatores determinados, como mostra a seguir na figura 1, sendo tecnicamente viável, econômico, benéfico ao meio ambiente, e também diz que é “uma resposta à necessidade de crescimento sustentável não apenas de um município, mas de um país, caracterizando a adoção da “filosofia” da racionalidade, da filosofia da preservação”.

Figura 1 - Comparação custo por m³ de base e sub-base de pavimento utilizando material convencional e material reciclado misturados com solo do próprio local.



Fonte : Adaptado – Livro Projeto Entulho Bom

4 METODOLOGIA

Serão expostos a seguir, os métodos para a caracterização dos resíduos de construção, demolição e dos solos a serem utilizados, além das dosagens para misturas com RCD, dimensionamento das camadas do pavimento e resistências, conforme as NBR's 15113, 15114, 15115, e 15116, e também as resoluções 307, 348 e 431 do CONAMA.

4.1 COLETA DE MATERIAL

A coleta do material será realizada em alguma construção em andamento na cidade de Porto Nacional - TO, em que os resíduos da construção não tenham um destino final.

4.2 METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO NORMATIVA DOS RESÍDUOS

A classificação dos RCD será feita de acordo com as Resoluções 307, 348 e 431 do CONAMA, conforme a tabela a seguir.

Tabela 1 - Classificação dos RCD segundo as Resoluções 307, 348 e 431 do CONAMA.

Classificação	Tipologia
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, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras;
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
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.

Fonte: Resolução 307, 348 e 431 do CONAMA.

Conforme NBR 151156:2004, aplicam-se sobre os resíduos as seguintes definições:

- Os resíduos sólidos da construção civil que são adequados à execução de camadas de reforço do subleito, sub-base e base, são apenas os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos ou demolições de obras de construção civil, definidos como classe “A” pela resolução CONAMA nº 307/2002, em que não será utilizado resíduo cerâmico, pois reduz a resistência da mistura.

4.3 METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DO SOLO A SER UTILIZADO NAS MISTURAS

Para determinar quais os materiais poderão ser utilizados na camada de reforço do subleito, sub-base e base de agregado reciclado, utilizarei as especificações da ABNT NBR 15115:2004, onde se recomenda que os materiais atendam aos seguintes requisitos:

- Deverá ser evitada a presença de madeiras, vidros, plásticos, gessos, forros, tubulações, fiações elétricas e papéis ou quaisquer materiais orgânicos ou não inertes, classificados como classe “B”, “C” e “D” pela Resolução CONAMA nº 307;
- O agregado reciclado deverá apresentar curva granulométrica, obtida por meio do ensaio da ABNT NBR 7181, bem graduada, não uniforme, com coeficiente de uniformidade $C_u \geq 10$ ($C_u = D_{60} / D_{10}$);
- A porcentagem que passa na peneira 0,42 mm (nº 40) deverá ficar entre 10% e 40%;
- Os agregados reciclados deverão ser classificados quanto ao tipo de emprego possível na execução de camadas de pavimentos, segundo parâmetros de Índice de Suporte Califórnia (CBR), obtidos por meio do ensaio da ABNT NBR 9895, conforme abaixo discriminado:
 - ✓ Material para execução de reforço de subleito: $\text{CBR} \geq 12\%$, expansão $\leq 1,0\%$ (energia de compactação normal, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457);
 - ✓ Material para execução de sub-base: $\text{CBR} \geq 20\%$, expansão $\leq 1,0\%$ (energia de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457);

✓ Material para execução de base de pavimento: CBR $\geq 60\%$, expansão $\leq 0,5\%$ (energia de compactação intermediária, conforme ABNT NBR 7182 e ABNT NBR 6457); é permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 106$ repetições do eixo-padrão de 80 KN no período de projeto;

- No caso de materiais que não atendam às exigências da alínea anterior, estes poderão ser estabilizados granulometricamente, conforme a ABNT NBR 11804, ou com adição de cimento e/ou cal hidratada, e neste caso serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples, após 7 dias de cura, devendo apresentar resistência de no mínimo 2,1 MPa, em corpos-de-prova moldados na energia de compactação especificada;

- A porcentagem máxima admissível, em massa, para grãos de forma lamelar, obtida conforme a ABNT NBR 7809, é de 30%;

- A dimensão característica máxima dos grãos será: 63,5 mm (tolerância de 5% da porcentagem retida, em massa, na peneira de 63,5 mm), limitada a 2/3 da espessura da camada compactada;

- Materiais indesejáveis de grupos distintos: máximo de 3% em massa;
- Materiais indesejáveis de mesmo grupo: máximo de 2% em massa;
- Não serão permitidos materiais nocivos ao meio ambiente ou à saúde do trabalhador.

As dosagens de RCD a serem utilizadas nos ensaios deste trabalho serão de 0% a 10%.

4.4 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO E RESISTÊNCIAS

4.4.1 Método convencional Empírico (DNIT)

A espessura mínima de qualquer camada de base, sub-base ou reforço de subleito conforme a ABNT NBR 15115:2004 deve ser de 10 cm, após a compactação, pois a execução das camadas de pavimento compreende as operações de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais, realizada na pista ou em central de mistura, bem como o espalhamento,

compactação e acabamento na pista devidamente preparada na largura desejada, nas quantidades que permitam, após a compactação, atingir a espessura projetada.

As exigências para os materiais de reforço do subleito, sub-base e base estabilizada, conforme o manual de pavimentação do DNIT (2006) são as seguintes:

- Para reforço do subleito: características geotécnicas superiores a do subleito, demonstrados pelos ensaios de CBR e de caracterização (Granulometria, LL, LP).
- Para sub-base granulometricamente estabilizada: $ISC3 \geq 20$ e índice do Grupo IG = O para qualquer tipo de tráfego.
- Para base estabilizada granulometricamente:
 - ✓ Limite de Liquidez máximo
 - ✓ 25% índice de plasticidade máximo: 6%
 - ✓ Equivalente de Areia mínimo: 30%
- Caso o Limite de Liquidez seja maior que 25% e/ou índice de plasticidade, maior que seis, poderá o solo ser usado em base estabilizada, desde que apresente Equivalente de Areia maior que 30%, satisfaça as condições de Índice Suporte Califórnia e se enquadre nas faixas granulométricas citadas adiante.
- O Índice Suporte Califórnia ou CBR deverá ser maior ou igual a 60 para qualquer tipo de tráfego; a expansão máxima deverá ser 0,5%. Poderá ser adotado um índice até 40, quando economicamente justificado, em face da carência de materiais e prevendo-se a complementação da estrutura do pavimento pedida pelo dimensionamento pela construção de outras camadas betuminosas.

Quanto à granulometria, deverá estar enquadrada em uma das faixas das especificações (tabela 2):

Tabela 2 - Granulometria dos materiais

TIPOS PENEIRA	I				II	
	A	B	C	D	E	F
	% em peso passando					
2"	100	100	—	—	—	—
1"		75-90	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	...	—
Nº4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25

Fonte: Manual de pavimentação do DNIT (2006).

O dimensionamento empírico será utilizado nas espessuras da base, sub-base e reforço do subleito, será realizado conforme o manual de pavimentação do DNIT (2006). O pavimento será dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido. A Figura 2 dará os fatores de equivalência de operação entre eixos simples e em "tandem", com diferentes cargas e o eixo simples padrão com carga de 8,2 t (18.000 lb).

Utilizaremos como estudo de volume médio de tráfego (VM), um trecho da rodovia TO 050, que faz a ligação entre o município de Porto Nacional- TO e Palmas- TO.

O volume total de tráfego, (num sentido) durante o período, V_t , será:

$$V_t = 365 \times P \times V_m \quad \text{Equação (1)}$$

Admitindo-se uma taxa $t\%$ de crescimento anual em progressão geométrica, o volume total do tráfego, V_t , durante o período será dado por:

$$V_t = \frac{365 V_1 [(1 + t/100)^p - 1]}{t/100} \quad \text{Equação (2)}$$

Conhecido V_t , calcula-se N, que é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no dimensionamento.

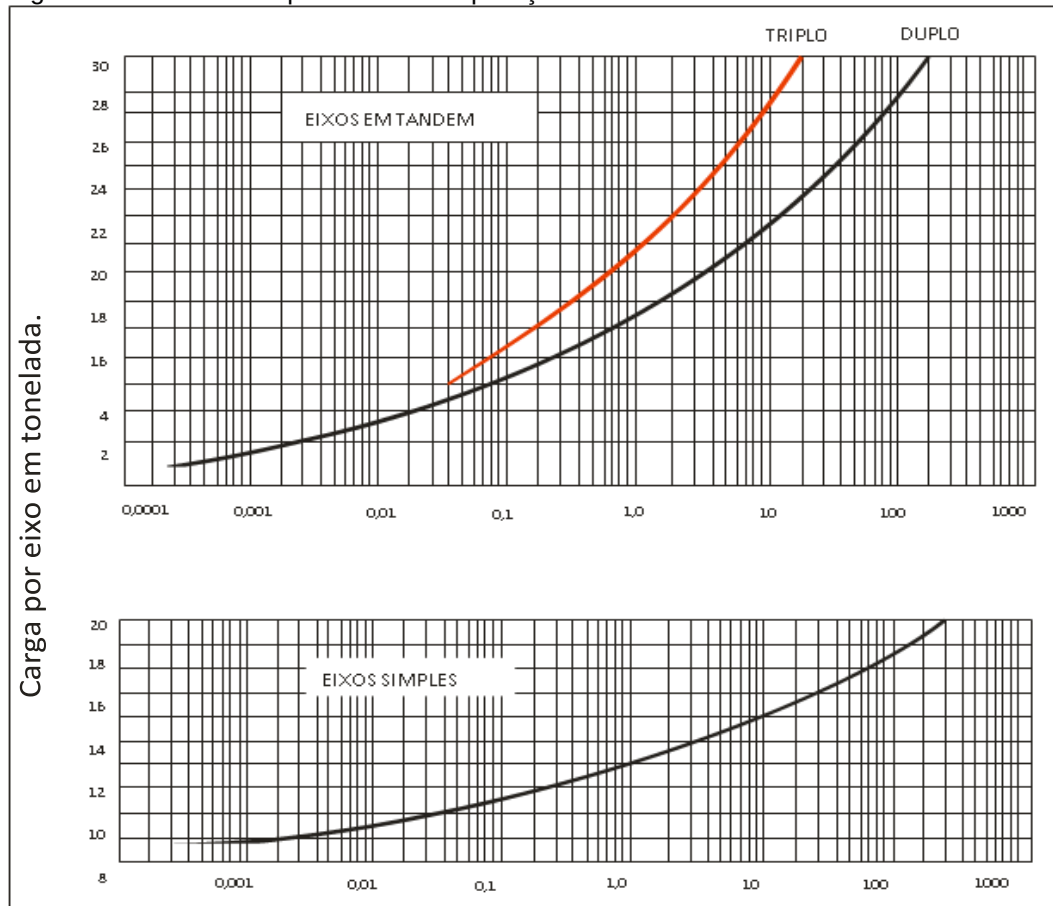
$$N = V_t \times (F.E) \times (F.C) \quad (F.E) \times (F.C) = F.V \quad \text{Equação (3)}$$

$$N = V_t \times (F.V) \quad \text{Equação (4)}$$

F.E é um fator de eixos, isto é, um número que, multiplicado pelo número de veículos, dá o número de eixos correspondentes. F.C é um fator de carga, isto é, um número que, multiplicado pelo número de eixos que operam, dá o número de eixos equivalentes ao eixo padrão. F.V é um fator de veículo, isto é, um número que multiplicado pelo número de veículos que operam, dá, diretamente, o número de eixos equivalentes ao eixo padrão.

Para o cálculo de F.E, F.C e F.V, será necessário conhecer a composição de tráfego. Para isto, é necessário fazer uma contagem do tráfego na estrada que se está considerando, estudando-se certo volume total do tráfego, V_t (para o período de amostragem). Faz-se contagem do número total de eixos n , e pesam-se todos esses eixos (Figura 2).

Figura 2 - Fatores de equivalência de operação



Fonte: Manual de pavimentação do DNIT (2006).

Tem-se:

$$n = V_t \times (F.E), \text{ donde, } F.E = \frac{n}{V_t}$$

Equação (5)

Com os dados de pesagem, organiza-se uma tabela (Tabela 3), como o seguinte, agrupando-se os diversos eixos por intervalos de carga, representados pelo seu ponto central:

Tabela 3 - Determinação do fator de operações

(1)	(2)	(3)	(4)
	Percentagem	Fator de equivalência	Fator de operações
Eixos Simples (t)			
Eixos tandem (t)			

Fonte: Manual de pavimentação do DNIT (2006).

Os valores da coluna 3 são obtidos da Figura 42. Os valores da coluna 4 são os produtos dos valores da coluna 2 pelos da coluna 3. O somatório dos valores da coluna 4 representa o produto $100 \times (F.C)$, isto é, Equivalência = $100 F.C$.

Onde:

$$F \cdot C = \frac{\text{Equivalência}}{100}$$

Equação (6)

Os seguintes os coeficientes de equivalência estrutural são utilizados para os diferentes materiais constitutivos do pavimento (Tabela 4):

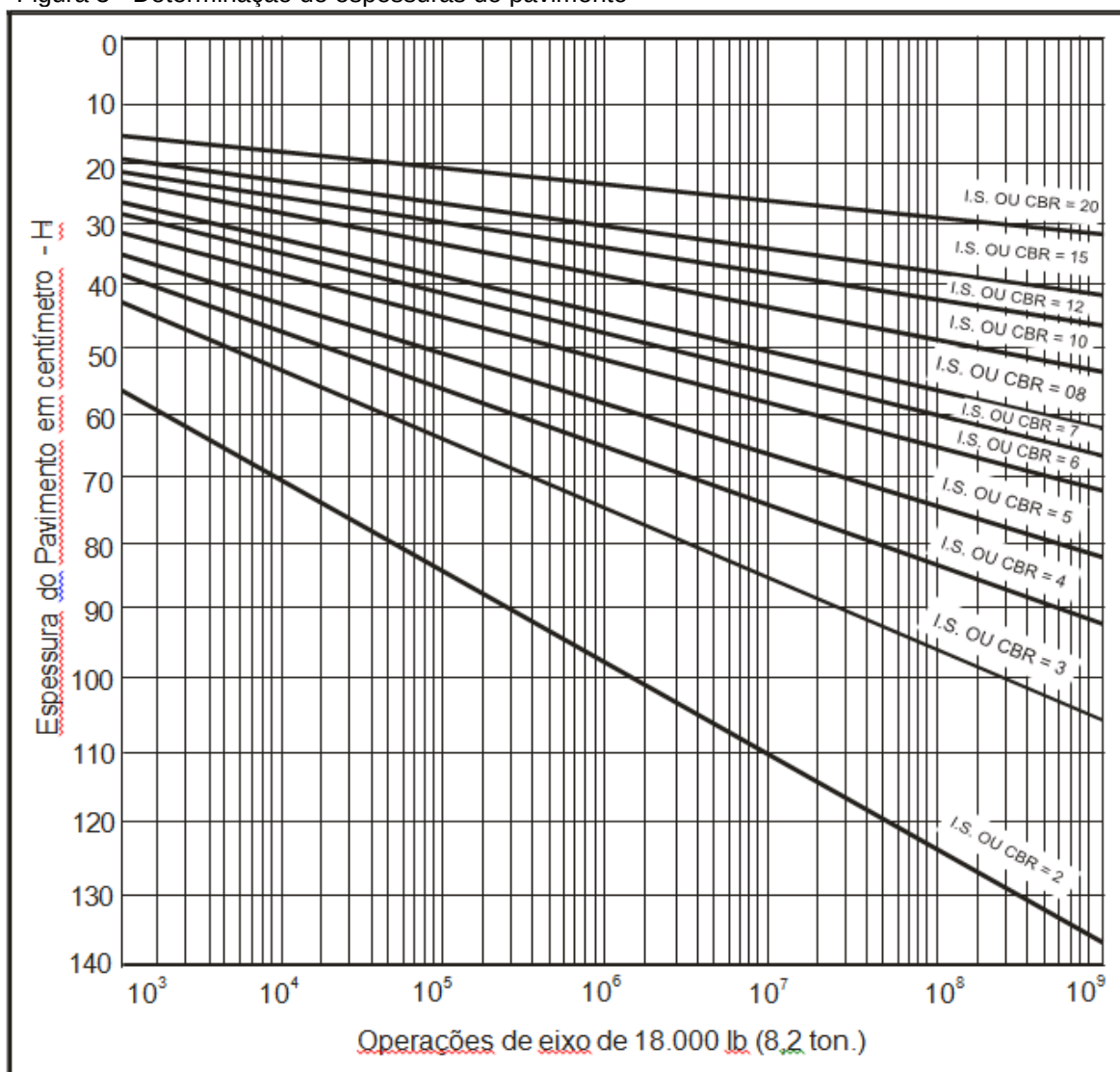
Tabela 4 - Coeficiente de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coeficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa.	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa.	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

Fonte: Manual de pavimentação do DNIT (2006).

Para o dimensionamento do Pavimento usaremos o gráfico da Figura 3 que dá a espessura total do pavimento, em função de N e de I.S. ou C.B.R.; a espessura fornecida por este gráfico é em termos de material com $K = 1,00$, isto é, em termos de base granular. Entrando-se em abcissas, com o valor de N, procede-se verticalmente até encontrar a reta representativa da capacidade de suporte (I.S. ou C.B.R.) em causa e, procedendo-se horizontalmente, então, encontra-se, em ordenadas, a espessura do pavimento.

Figura 3 - Determinação de espessuras do pavimento



Fonte: Manual de pavimentação do DNIT (2006).

$$Ht = 77,67 \cdot N^{0,0482} \cdot CBR^{-0,598} \quad \text{Equação (7)}$$

Supõe-se sempre, que há uma drenagem superficial adequada e que o lençol d'água subterrâneo foi rebaixado a, pelo menos, 1,50 m em relação ao greide de regularização.

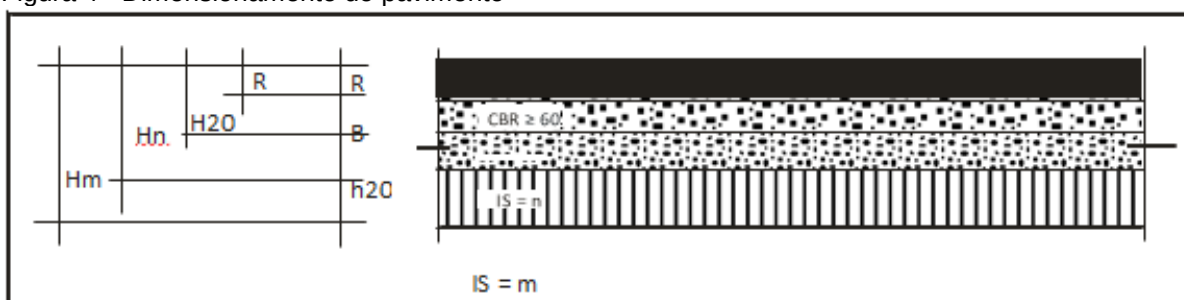
No caso de ocorrência de materiais com C.B.R. ou I.S. inferior a 2, é sempre preferível a fazer a substituição, na espessura de, pelo menos, 1 m, por material com C.B.R. ou I.S. superior a 2.

As espessuras máxima e mínima de compactação das camadas granulares são de 20cm e 10cm, respectivamente.

A espessura construtiva mínima para estas camadas é de 15 cm.

A Figura 4 apresenta simbologia utilizada no dimensionamento do pavimento, H_m designa, de modo geral, a espessura total de pavimento necessário para proteger um material com C.B.R. ou I.S. = CBR ou IS = m, etc., h_n designa, de modo geral, a espessura de camada do pavimento com C.B.R. ou I.S. = n, etc.

Figura 4 - Dimensionamento do pavimento



Fonte: Manual de pavimentação do DNIT (2006).

Mesmo que o C.B.R. ou I.S. da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessário para protegê-la é determinada como se esse valor fosse 20 e, por esta razão, usam-se sempre os símbolos, H_{20} e h_{20} para designar as espessuras de pavimento sobre sub-base e a espessura de sub-base, respectivamente. Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras de base e de revestimento. Uma vez determinadas as espessuras H_m , H_n , H_{20} , pelo gráfico da Figura 53, e R pela tabela apresentada, as espessuras de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad RK_R + BK_B + h_{20} \quad K_S \geq H_n \quad \text{Equação (8)}$$

$$RK_R + BK_B + h_{20} \quad K_S + h_n \quad K_{Ref} \geq H_m. \quad \text{Equação (9)}$$

4.4.1.2 Ensaio de CBR

O ensaio de CBR consistirá conforme as especificações da DNER – ME 049/94 onde será determinado, por meio de equações empíricas, a espessura de pavimento flexível necessária e a resistência.

A sequência do ensaio seguirá conforme mostrarei a seguir:

- Será compactado no molde o material, em cinco camadas iguais de modo a se obter uma altura total de solo com cerca de 12,5 cm, após a compactação. Cada camada receberá 12 golpes do soquete (caso de materiais para

subleito), 26 ou 55 (caso de materiais para sub-base e base), caindo de 45,7 cm, distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada. O peso do soquete será de 4,5 kg.

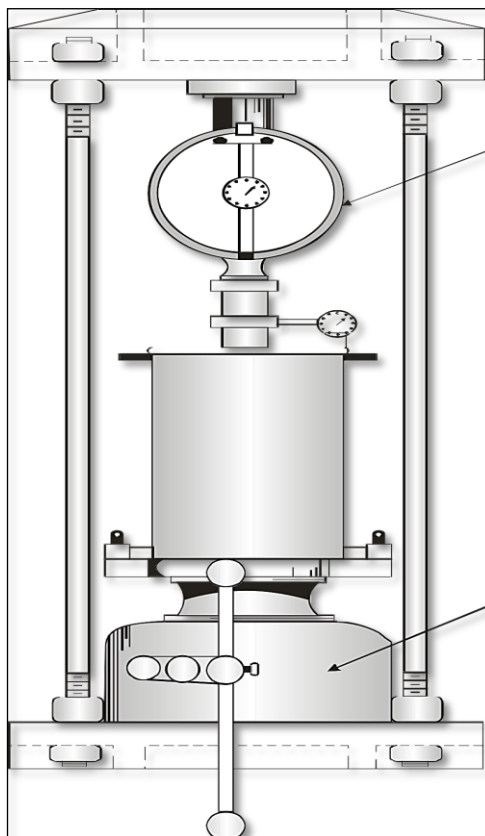
- Após a compactação, o material deverá ficar na altura exata do molde e do material excedente da moldagem será retirada uma amostra representativa com cerca de 100g para determinar a umidade.

- Compactarei outros corpos-de-prova com teores crescentes de umidade, tantas vezes quantas necessárias para caracterizar a curva de compactação.

- Colocarei os corpos-de-prova imersos em água durante quatro dias.

- A penetração dos corpos-de-prova será feita numa prensa (Figura 5), a uma velocidade constante de 0,05 pol/min.

Figura 5 - Prensa para índice de Suporte Califórnia

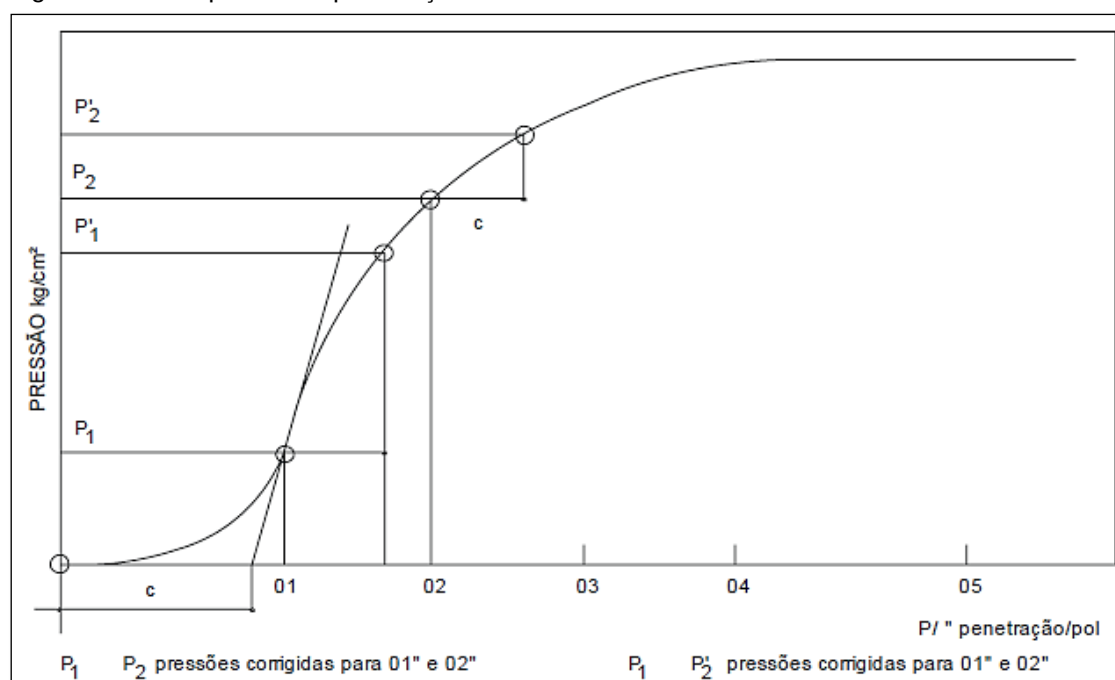


Fonte: Manual de Pavimentação do Dnit (2006)

- Traçarei uma curva pressão-penetração conforme é mostrado na Figura 6. Caso exista um ponto de inflexão, traçarei uma tangente à curva nesse ponto até que ela intercepte o eixo das abcissas; a curva corrigida será então essa

tangente mais a porção convexa da curva original, considerada a origem mudada para o ponto em que a tangente corta o eixo das abscissas. Seja c a distância desse ponto à origem dos eixos. Somarei às abscissas dos pontos correspondentes as penetrações de 0,1 e 0,2 polegadas a distâncias c . Com isso obterei, na curva traçada, os valores correspondentes das novas ordenadas, que representam os valores das pressões corrigidas para as penetrações referidas.

Figura 6 - Curva pressão – penetração



Fonte: Manual de Pavimentação do Dnit (2006)

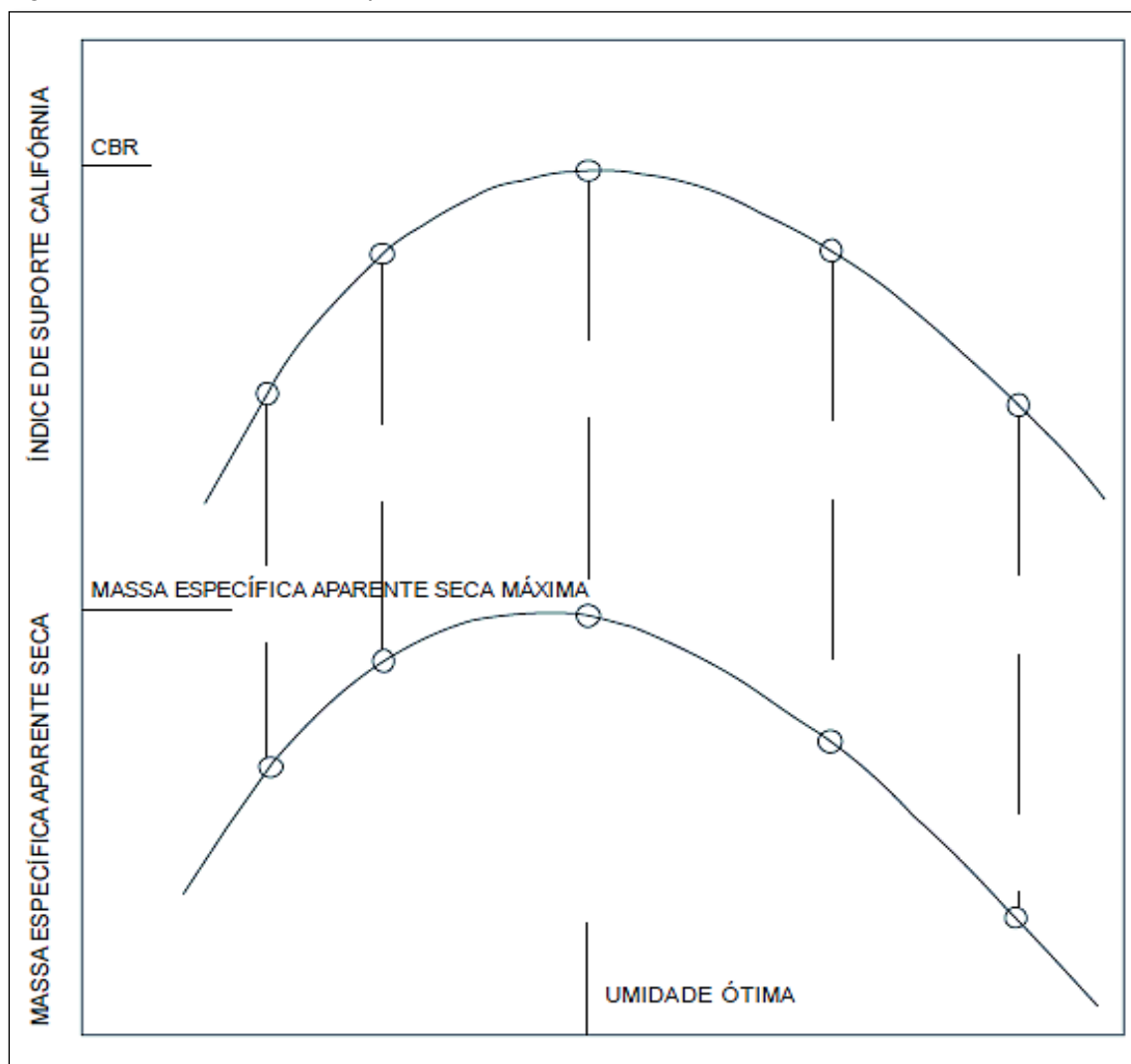
- O índice de suporte Califórnia (CBR), em percentagem, para cada corpo-de-prova será obtido pela fórmula:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Pressão calculada ou pressão corrigida}}{\text{Pressão padrão}} \quad \text{Equação (10)}$$

Para o índice CBR, será adotado o maior dos valores obtidos nas penetrações, de 0,1 e 0,2 polegadas.

Para o cálculo do Índice de Suporte Califórnia (CBR) final, registrarei os valores dos índices do Suporte Califórnia (CBR) obtida, correspondente aos valores das umidades que serviram para a construção da curva de compactação. O valor da ordenada desta curva, correspondente à umidade ótima já verificada, mostrará o índice de Suporte Califórnia (Figura 7).

Figura 7 - Curvas de massa específica - umidade e CBR-umidade



Fonte: Manual de Pavimentação do DNIT (2006)

4.4.1.3 Ensaio de Granulometria

O ensaio de granulometria será feito conforme a ABNT NBR 7181:1984. Onde será feito o peneiramento grosso: até a peneira Nº 10, o peneiramento fino: da peneira Nº 40 até a peneira Nº 200 e a sedimentação: a partir da peneira Nº 200.

Trabalharemos com uma amostra representativa de solo, obtida do repartidor de amostras, passada no almofariz e destorroada. Passa-se o material destorroado na peneira Nº 10 (2,0 mm). O material que fica retido na peneira deverá ser lavado na própria peneira. Desta forma será retirado todo material fino aderente aos grãos do material retido. Transferiremos o material retido e lavado para uma das cápsulas numeradas e levaremos à estufa para secagem, durante um período de no mínimo 12 horas. Procede-se ao peneiramento o material seco nas peneiras 38,1 –

25,4 – 19,1 – 9,5 – 4,8 e 2,00 mm de diâmetro. Pesaremos as frações do material retidas em cada peneira. Calcularemos as percentagens do material retido em cada uma das peneiras, em relação ao peso da amostra total seca.

A sedimentação será feita conforme o método desenvolvido por Bouyoucos e Casagrande. Esta sedimentação é baseada na “Lei de Stockes” segundo a qual partículas num meio aquoso depositam-se com velocidades proporcionais aos seus diâmetros.

Do material que passa na peneira Nº 10 (2,00 mm) retira-se cerca de 70 g, no caso de solos argilosos ou 120 gramas, no caso de solos arenosos e siltosos. Coloca-se o material em um Becker, adicionando 125 cm³ da solução de hexametáfosfato de sódio com concentração de 45,7 g do sal para 1000 cm³ de solução.

Para não reverter em ortofosfato de sódio à solução de hexametáfosfato de sódio deverá ser tamponada com carbonato de sódio até que a mesma atinja um ph entre 8 e 9 (outros defloculantes podem ser usados no lugar do hexametáfosfato de sódio).

Deixa-se em repouso por 12 horas, no mínimo. Após as 12 horas, transfere-se toda a mistura para o copo do dispersor, removendo-se com água destilada. Submete-se a mistura à ação do dispersor, por aproximadamente 15 minutos, após isso, transfere-se o material do dispersor para uma proveta graduada e junta-se água destilada até atingir a marca de 1000 ml, tapa-se a boca da proveta com a palma da mão e com o auxílio da outra, agita-se, durante 1 minuto, de tal forma que a boca da proveta passe de cima para baixo e vice-versa.

Imediatamente após a agitação, coloca-se a proveta sobre uma bancada, dispara-se o cronômetro e anota-se à hora exata do início da sedimentação.

Mergulha-se o densímetro na proveta, fazem-se as leituras correspondentes aos tempos de 30 segundos, 1 minuto e 2 minutos, retira-se o densímetro e mede-se a temperatura da suspensão. Fazem-se as leituras subsequentes de 4, 8, 15, 30 minutos e 1, 2, 4, 8 e 24 horas (anotando-se as temperaturas).

Tem-se o cuidado de retirar o densímetro da proveta de água e colocar na dispersão cerca de 20 segundos antes de cada leitura, de modo que estas sejam feitas com o densímetro estável na dispersão.

Terminadas as leituras do ensaio de sedimentação despeja-se e lava-se a suspensão na peneira Nº 200 (0,074 mm), o material retido na peneira é transferido para uma cápsula e seco na estufa. O material seco é passado em um conjunto nas peneiras (1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,30 – 0,15 e 0,074 mm de diâmetro) e levado ao peneirador “Ro-Tap” durante cerca de 5 minutos. Após a vibração pesam-se as proporções retidas em cada peneira.

Para a determinação do peso da amostra total seca calcularei o peso do material retido na peneira Nº 10 somando-se os pesos dos materiais retidos nas peneiras de peneiras 38,1 – 25,4 – 19,1 – 9,5 – 4,8 e 2,00 mm de diâmetro, subtrai-se do peso total das amostras úmida, o peso do material retido na peneira Nº 10 (2,00 mm), multiplica-se a diferença encontrada pelo fator de correção $f = 100 / (100 + h)$, onde h é a umidade higroscópica do solo (umidade da porção mais fina), soma-se o produto obtido ao peso do material retido na peneira Nº 10 e obtém-se o peso da amostra seca total. Determinaremos o peso total da amostra seca pela seguinte relação:

$$P_s = \frac{(P_t - P_g)}{100 + h} 100 + P_g$$

Equação (11)

Onde:

P_s = Peso total da amostra seca;

P_t = Peso total da amostra seca ao ar;

P_g = Peso do material retido na peneira Nº 10;

H = Umidade higroscópica do material passado na peneira Nº 10.

As percentagens do material que passa nas peneiras 50; 38; 25; 19; 12; 9; 5; 4,8 e 2,00 mm (peneiramento grosso) serão calculadas pela expressão:

$$Q_g = \frac{P_s - P_t}{P_s} 100$$

Equação (12)

Onde:

Q_g = Percentagem do material passado em cada peneira;

P_s = Peso total da amostra seca;

P_t = Peso do material retido acumulado

As percentagens dos materiais retidos em cada uma das peneiras mencionadas acima serão calculadas em relação ao peso da amostra parcial seca:

$$Qf = \frac{Ph \cdot 100 - Pi \cdot (100 + h)}{Ph \cdot 100} N$$

Equação (13)

Onde:

Qf = Percentagem dos materiais que passam em cada peneira;

Ph = Peso da amostra parcial úmida;

Pi = Peso do material retido acumulado em cada peneira;

Ph = Peso da amostra parcial úmida;

N = Percentagem que passa na peneira N° 10 (2,00 mm);

h = Umidade higroscópica do material.

O Diâmetro da partícula do solo em suspensão pode ser calculado pelo Nomograma de Casa grande ou pela “Lei de Stokes”, mostrada a seguir:

$$d = \frac{\sqrt{1800\eta}}{\sqrt{\gamma - \gamma_d}} (\sqrt{a}/\sqrt{t})$$

Equação (14)

Onde:

d = Diâmetro máximo das partículas;

η = Coeficiente de viscosidade do meio dispersor, à temperatura de ensaio em g.s/cm²;

a = Altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondente a leitura do densímetro (cm);

t = Tempo de sedimentação (segundo);

γ = Peso específico dos grãos do solo (g/cm³);

γ_d = Peso específico do meio dispersor em g/cm³ = 1,00 g/cm³ (água).

As percentagens do material em suspensão referidas à massa total da amostra são calculadas com a seguinte fórmula:

$$Q = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_d} \cdot \frac{V \cdot \gamma_d \cdot (L - L_d)}{\frac{Ph}{(100 + h)} \cdot 100}$$

Equação (15)

Onde:

V = Volume da suspensão;

Ph = Peso do material úmido usado na sedimentação;

L = Leitura do densímetro na suspensão;

L_d = Leitura do densímetro no meio dispersor;

N = Percentagem do material que passa na peneira N° 10;

γ = Peso específico dos grãos do solo (g/cm³);

γ_d = Peso específico do meio dispersor em $\text{g/cm}^3 = 1,00 \text{ g/cm}^3$ (água);

L_c = Leitura corrigida do densímetro (cm);

P_s = Peso da amostra parcial seca (g).

4.4.2 Método Mecanístico utilizando o software MEDINA

Com o software MEDINA iremos realizar o dimensionamento das camadas do pavimento a partir dos dados de módulo resiliente, que serão obtidos utilizando alguns métodos de correlação estática e características de tráfego.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS NBR 15.114. **Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS NBR 15.115. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS 15.116. **Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** Rio de Janeiro. 2004.

BALBO, JOSÉ TADEU. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira. SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504f. Edição ano 2008.

BRASIL-DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação.** Diretora de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006. 274p.

CARNEIRO, A.P.; BURGOS, P.C.; ALBERTE, E.P.V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos.** Projeto entulho bom – editora EDUFBA 2001b. 309 p.

DELONGUI, L. **Determinação de parâmetros mecânicos para dimensionamento de pavimentos com resíduos de construção e demolição.** 2016. Tese (Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre).

DIAS, João Fernando. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo.** 2004. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DNER ME 131/94 - **Solos. Determinação do módulo de resiliência.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro, RJ, 1994.

FERNANDES, C. G., **Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em pavimentação dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. RJ, 2004.

LEITE, F. C., **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2007.

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

Mylane Viana Hortegal¹, Thiago Coelho Ferreira¹, Walter Canales Sant'ana. **Utilização De Agregados Resíduos Sólidos Da Construção Civil Para Pavimentação Em São Luís – MA**, 2009.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

OLIVEIRA, Millena Damilde, **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA**. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Engenharia Civil. Santa Catarina, 2014.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **PMSP ETS 01: camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil**. São Paulo, 2003. 14 p.

RESOLUÇÃO DO CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA) nº. 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 26 out 2018.

RIBEIRO, Fabrício. **Estudo da aplicação do agregado reciclado na base de um pavimento flexível**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2006. 171 f

SILVA, V.C. et al. **Estudo da aplicação de RCD oriundos de obras na UFCG em misturas asfálticas**. In: 42º RAPV – Reunião Anual de Pavimentação. Gramado, 2013.

Sousa, Oliveira, Amorim (2). **A utilização de agregado reciclado da construção civil na pavimentação rodoviária.** 2015

Wanderson da Silva, Edilson Soares Melo Júnior, Glauber Tulio Fonseca Coelho, Daniel Rocha Pereira. **Utilização de agregados dos resíduos da construção e demolição (RCD) em pavimentação.** 2015.