

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ - FAG

GUSTAVO LUIS WELTER

**ANALISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE PNEU TRITURADO NO INDICE
SUPORTE CALIFORNIA (ISC) DE SOLO SUPERFICIAL LATERITICO DE
CASCAVEL/PR.**

**CASCAVEL - PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ - FAG

GUSTAVO LUIS WELTER

**ANALISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE PNEU TRITURADO NO INDICE
SUPORTE CALIFORNIA (ISC) DE SOLO SUPERFICIAL LATERITICO DE
CASCABEL/PR.**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, da Faculdade Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador Me. Eng. Civil Maycon
André de Almeida**

**CASCABEL - PR
2016**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo o apoio,
amor infinito e suporte, sendo eles minha motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, pela família maravilhosa que me concedeu e por sempre iluminar meu caminho.

Agradeço à minha família e amigos, por entenderem a minha ausência, sempre me incentivarem e me darem apoio para vencer esta etapa da minha vida.

Aos professores que contribuíram para minha caminhada, sempre me ajudando e auxiliando para que eu obtivesse o melhor conhecimento sobre a minha profissão. Um agradecimento especial ao meu orientador Eng. Me. Maycon A. Almeida, que colaborou muito para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Levando em conta que o principal meio de transporte de pessoas e cargas do Brasil é o modal rodoviário, o estudo desde faz-se necessário para buscar melhoramento dos métodos executivos da malha rodoviária, qualquer bom pavimento necessita de uma base e sub-base boas, para ter desempenho satisfatório, assim uma pesquisa que procure o melhoramento dos mesmos é de suma importância. O objetivo principal do trabalho é verificar a influencia no Índice Suporte Califórnia (ISC) do Campo Experimental de Engenharia da FAG (CEEF), em Cascavel – PR, com adição de borracha de pneus inservíveis triturados, por meio do ensaio de capacidade de suporte (Índice de Suporte Califórnia). É realizada a análise dos resultados das diferentes amostras dos ensaios com teores de 0,5%, 1%, 2,5%, 5% e 7,5% de borracha e verificado qual tem o melhor desempenho, comparando com o solo em estado natural. Nesta pesquisa foram encontrados os valores de ISC das amostras e a que teve melhor desempenho foi a de 1%, em relação ao solo *in natura*, porém a sua utilização para sub-base não obedece aos quesitos necessários que determinam para a utilização, segundo DER/SP, 2006.

Palavras-chave: ISC, Solo-Borracha, Pavimentação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil resultante da decomposição de rochas.	14
Figura 2: Composição de pneus radiais de automóveis.....	18
Figura 3: Depósito de Pneus Inservíveis nos EUA.	19
Figura 4: Equipamentos ensaio de compactação.	21
Figura 5: Equipamentos ISC.....	25
Figura 6: Prensa para ISC.....	25
Figura 7: Esquemático da curva para determinar o ISC.	26
Figura 8: Local onde se encontra o CEEF.	28
Figura 9: Local da retirada da amostra.	28
Figura 10: Compactação da amostra.	30
Figura 11: Corpos de prova imersos.....	31
Figura 12: Amostra escorrendo excesso de água e posta na prensa de penetração.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Limite granulométrico de solo pelo tamanho dos grãos.....	15
Tabela 2: Venda mundial de pneus para carros de passeio e projeção, de 1992 á 2005.	17
Tabela 3: Energias de Compactação.....	23
Tabela 4: Procedimento após peneiramento.....	24
Tabela 5: Resultado do ensaio ISC com o solo em estado natural	33
Tabela 6: Resultado da Expansão para o solo em estado natural.	34
Tabela 7: Resultado do ISC para 0,5% de borracha adicionada ao solo.	34
Tabela 8: Expansão para o teor 0,5%.	34
Tabela 9: Resultado do ISC para 1% de borracha adicionada ao solo.	35
Tabela 10: Expansão para o teor 1%.	35
Tabela 11: Resultado do ISC para 2,5% de borracha adicionada ao solo.	35
Tabela 12: Expansão para o teor 2,5%.	36
Tabela 13: Resultado do ISC para 5% de borracha adicionada ao solo.	36
Tabela 14: Expansão para o teor 5%.	36
Tabela 15: Resultado do ISC para 7,5% de borracha adicionada ao solo.	37
Tabela 16: Expansão para o teor de 7,5%.	37
Tabela 17: Dados gerais obtidos pelo ensaio ISC.	38
Tabela 18: Porcentagens das amostras em relação ao solo in natura	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Determinação da umidade ótima do solo da CEEF.....	30
Gráfico 2: Ensaio de Penetração de todas as amostras.....	38
Gráfico 3: Relação dosagens de borracha com solo in natura.	39

SUMÁRIO

1.1 INTRODUÇÃO	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1.1 Solo	13
2.1.2 Pneus.....	17
2.1.2.1 Classificação dos pneus	18
2.1.2.3 Utilização de Pneus Inservíveis na Engenharia	20
2.1.3 Pavimentação.....	20
2.1.4 Ensaio de Compactação	20
2.1.5 Ensaio ISC	23
3.1 METODOLOGIA.....	27
3.1.1 Caracterização da amostra	27
3.1.2 Ensaios Laboratoriais	29
3.1.3 Índice de Suporte Califórnia (ISC).....	30
4.1 Resultados e Discussões.....	33
4.1.1 Solo-Natural	33
4.1.2 Solo-Borracha (0,5%)	34
4.1.3 Solo-Borracha (1%)	34
4.1.4 Solo-Borracha (2,5%)	35
4.1.5 Solo-Borracha (5%)	36
4.1.6 Solo-Borracha (7,5%)	37
4.1.7 Índice de Suporte Califórnia do Solo-Borracha	37
5.1 Considerações Finais.....	41
6.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície do leito, após os serviços de terraplanagem, por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformidade, cuja principal função é fornecer segurança e conforto ao usuário (SOUZA, 1980; SANTANA, 1993; *apud*, MARQUES, 2004).

O transporte é um elemento fundamental para o custo final da maioria dos produtos comercializados, os romanos (300 a.C.), segundo registros, já se utilizavam de estradas pavimentadas, o exemplo é a Via Ápia que ligava a capital Roma ao porto do Brindisi sudeste da Itália, que era utilizada quase que somente para o comércio, em cavalos e carroças, principalmente. A estrutura utilizada pelos antigos romanos era constituída por um leito de solo compactado recoberto por pedras pequenas e misturadas a areia e argamassa.

Um leito que suporte bem as cargas postas sobre ele vai permitir que haja economia na execução de uma excelente pavimentação, com isso se faz necessária à utilização de métodos capazes de melhorar o solo aumentando a sua capacidade de carga. Se o reforço do leito tiver bom desempenho em relação a quantidade de carga que suporta a base e sub-base não necessitarão tanto investimento, pois a espessura vai ser menor e a quantidade de material a ser utilizado também (FRANCO, 2007).

Deve-se levar em consideração a reutilização de materiais que não tem destino certo, ecologicamente falando, a utilização desses produtos como exemplo pneus velhos, pode ajudar na engenharia e uma das possibilidades é a utilização para reforço de solo leito de pavimentos, assim reduzindo o impacto ambiental e a poluição por parte desses resíduos.

Segundo a Reciclanip¹, em 2012, 64% dos pneus inservíveis (pneus que não podem mais voltar a rodar em automóveis) no Brasil, foram utilizados como combustível em indústrias de cimento. Os 36% restantes foram triturados e aproveitados na fabricação de solados de sapato, borrachas de vedação, pisos de quadras poliesportivas, pisos industriais e tapetes para automóveis (FACCIO, 2012).

A adição de borracha triturada provinda de pneus inservíveis com solo argiloso do Campus Experimental da PUC-RJ, após efetuar os ensaios triaxiais com a mistura solo-borracha

¹ Entidade sem fins lucrativos que atua na logística de coleta e destinação de pneus inservíveis.

teve aumento considerável de resistência ao cisalhamento, coesão e ângulo de atrito em relação ao solo puro (RAMIRÉZ & CASAGRANDE, 2014).

Sendo assim, por se tratar de um resíduo nocivo e de difícil retorno a natureza, é muito importante realizar ensaios que buscam reaproveita-lo da melhor maneira possível afim de evitar o descarte impróprio na natureza.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a influência no Índice Suporte Califórnia (ISC) do Campo Experimental de Engenharia da FAG (CEEF), em Cascavel – PR, com adição de borracha de pneus inservíveis triturados, por meio do ensaio de capacidade de suporte ISC (Índice de Suporte Califórnia).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Coletar e moldar corpos de prova com diversas porcentagens em massa de adição de pneu triturado;
- Verificar qual a dosagem mais eficiente na mistura solo-borracha;
- Comparar os resultados obtidos, com dados de uma amostra na condição normal, sem qualquer adição.

1.3 JUSTIFICATIVA

A utilização de pneu triturado no solo de fundação de vias pode ser viável, já se tem estudos onde comprovam que solos argilosos com adição de determinados percentuais desse material conferem uma maior resistência ao cisalhamento, coesão e aumentam do ângulo de atrito, dados obtidos por meio de ensaios triaxiais. Com esses ensaios foram obtidos resultados positivos, estima-se que realizar ensaios de capacidade de suporte (ISC) com adição do mesmo material citado, para que se possa verificar a utilização da mistura solo-borracha em base de pavimento é realmente viável (RAMIRÉZ & CASAGRANDE, 2014).

O tema sustentabilidade está na mídia mundial por se tratar de um assunto que trará consequências irreversíveis para o meio ambiente, afetando também a forma que vivemos. Um pneu na natureza pode demorar mais de 600 anos para se degradar, por esse motivo, encontrar onde usar esse material preservando o meio ambiente, como por exemplo na construção civil, traria benefícios para natureza e também para a engenharia, onde não se pode imaginar o quão distante essa pesquisa chegaria (RESENDE, 2004).

Na realização deste trabalho buscou identificar a eficiência que o acréscimo de borracha traz ao solo, dessa forma tentar provar que é possível a utilização desse material em base de pistas de rolamento.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A adição de borracha de pneu triturada irá proporcionar alguma melhoria no comportamento mecânico do solo, mas especificamente nos resultados do ensaio de capacidade de carga ISC?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa se limitou em verificar o comportamento do solo superficial coletado em poço de inspeção com um metro de profundidade do Campo Experimental de Engenharia da FAG (CEEF), Cascavel – PR, com adição de diferentes teores de borracha triturada, as amostras foram utilizadas para o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC).

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Solo

O termo “solo” como é conhecido tem origem do Latim *solum* que significa suporte, superfície, base. Ainda para o Dicionário Aurélio, solo é o material da crosta da terra não consolidado, diferente das rochas, por suas partículas se desagregam com facilidade pela simples agitação dentro da água.

Para a Engenharia Civil, se considera solo todo o tipo de material orgânico ou não orgânico, parcialmente cimentado ou inconsolidado, que se encontra na superfície da terra. Simplificando, entende-se por solo qualquer material que se possa escavar com pá, picareta, escavadeira e em necessidade explosivos (DNER², 1996).

Para NOGAMI (1995) solos são materiais da natureza que não são consolidados, constituídos de pequenos grãos separáveis por processos hidráulicos e mecânicos, de fácil dispersão em água e que podem ser escavados com os equipamentos mais comuns de terraplenagem. O solo ainda terá estrutura artificial quando transportado e/ou compactado mecanicamente, como em barragens, aterros, reforços do subleito de pavimentos, dentre outros.

A ABNT (NBR 6502) define solo como: material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agente físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica, ou meramente, resultado da decomposição e fragmentação de rocha pelo intemperismo.

2.1.1.1 Origem e formação dos solos

Todo o solo tem sua origem imediata ou remota na decomposição das rochas pela ação das intempéries. A formação originária dos solos depende de pelo menos cinco fatores principais, são estes: 1 - A natureza da “Rocha mãe”; 2 - O clima da região; 3 - O agente intempérico de transporte; 4 - A topografia da região; 5 - Os processos orgânicos. Sobre este ponto de vista, os solos seriam divididos em quatro grandes grupos: 1 - Residuais; 2 - Transportados; 3 - Orgânicos; 4 – Pedogênicos. (VARGAS, 1978).

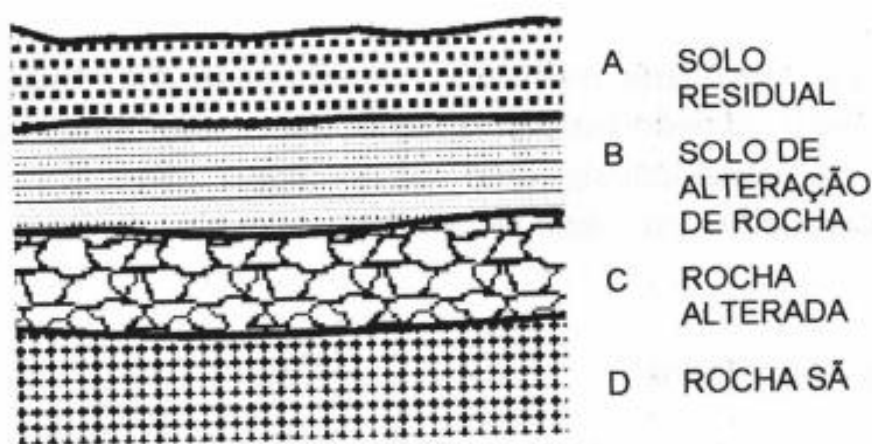
² Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

Rochas expostas à atmosfera sofrem as ações do tempo, como irradiação solar, umidade provinda das chuvas, ventos e crescimento de organismos vivos que fazem com que haja modificação nos aspectos físicos e químicos dos seus minerais. Processos esses que são nomeados de intemperismo, que é o principal responsável para a formação do solo (LEPSCH, 2010).

Ao ocorrer à ação dos mecanismos de intemperização, o material decorrente poderá permanecer ou não sobre sua rocha de origem. No primeiro caso, podemos apontar os chamados solos residuais, comumente encontrados no Brasil, sobretudo no Centro-Sul. Como exemplo, temos as chamadas “terras roxas” originizadas da decomposição dos basaltos. A separação entre a rocha matriz e o solo residual é gradual, além disso, pode-se distinguir pelo menos duas faixas distintas entre o solo e a rocha. A primeira, sobre rocha, denominada rocha alterada ou rocha decomposta e a segunda, logo abaixo do solo, denominado como solo de alteração (BUENO e VILAR, 1979).

A Figura 1 ilustra um perfil de intemperização de rocha sã até solo residual.

Figura 1: Perfil resultante da decomposição de rochas.



Fonte: DNER (1996)

2.1.1.2 Classificação dos Solos

A classificação SUCS³ foi desenvolvida pelo professor CASAGRANDE, na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, na década de 40, visando a aplicação na seleção de materiais para projetos de pavimentos de aeroportos, sendo conhecida também como Sistema de Classificação de Aeroportos. A versão da SUCS publicada em 1990 considera como

³ Sistema Unificado de Classificação de Solos.

principais parâmetros classificatórios a distribuição e a forma da curva granulométrica, o limite de liquidez, o índice de plasticidade e a compressibilidade dos solos.

Os solos são agrupados em três diferentes classes, em função da porcentagem de material retido na peneira nº 200: solos de graduação grossa e solos de graduação fina, divididos em 15 grupos diferentes. Ainda se diferencia um terceiro grupo: os solos altamente orgânicos (RAMIRÉZ & CASAGRANDE, 2014).

Outra característica que diferencia os solos é o tamanho de suas partículas, muitas vezes não necessitam de instrumentos para diferenciar os grãos do solo, por exemplo, uma amostra de argila e outra de areia, também se percebe essa diferença na presença de água, consegue se distinguir partículas de areia quando estão saturadas, já de silte e argila não é possível essa observação (PINTO, 2006).

Os limites das várias faixas de tamanho dos grãos variam conforme os sistemas de classificação, enquadrando-se em denominações específicas. Os valores adotados pela ABNT são indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Limite granulométrico de solo pelo tamanho dos grãos.

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	de 20 cm a 1 m
Pedra	de 6,0 cm a 20 cm
Pedregulho	de 2,0 mm a 6,0 cm
Areia grossa	de 0,6 mm a 2,0 mm
Areia média	de 0,2 mm a 0,6 mm
Areia fina	de 0,06 mm a 0,2 mm
Silte	de 0,002 mm a 0,06 mm
Argila	inferior a 0,002 mm

Fonte: NBR 6502/1995.

2.1.1.3 Solo de Cascavel

Na região de Cascavel o solo predominante é argiloso e poroso com características colapsíveis encontrados em solos lateríticos, um solo de baixa resistência, portanto não é adequado para se executar fundações diretas, necessitando assim para obras de grande escala como edifícios, a execução de fundações profundas. No caso de pavimentos, solo de resistência baixa, transpassa a necessidade da realização de uma sub-base maior, afim de aguentar melhor

as cargas que são repassadas ao sub-leito, já que este não possui características para suportar tais esforços (LORENZI *et al*, 2012).

Os solos porosos (lateríticos) colapsíveis, tem como principal característica na sua estrutura, a perda de volume quando saturado, pela redução do número do índice de vazios, isso ocorre independentemente se está posto sobre carga, portanto se trata de um solo caracterizado com estruturas instáveis. Já a principal característica dos solos lateríticos é a sua tonalidade avermelhada, causada pela presença de óxido de ferro (Guimarães, 1998).

2.1.1.4 Reforço de Solo

Para se ter melhor ideia do que se trata solo reforçado, pode se fazer uma analogia com o concreto armado, onde o aço agrega qualidade ao concreto, trazendo resistência a tração. No caso do solo a finalidade do reforço é atribuir características que não estariam presente neste ou até mesmo agregar mais qualidades nos atributos do próprio solo (GARCEZ, 1999).

Os geossintéticos vêm sendo utilizados nos últimos anos como materiais alternativos, podendo ser empregado em variados modelos de obras, mas em especial em construções pesadas. O Termo utilizado vem de terra “geo” e polímeros “sintéticos” (ABRAMENTO, 2002; *apud*, SUZUKI, 2012).

A utilização de outros elementos para reforçar o solo é praticada a muito tempo, há registros que comprovam que civilizações antigas na China utilizavam de galhos de árvores para aumentar a resistência a tração do solo em barragens, e também se encontra solo reforçado em trechos da Muralha da China (ELIAS, 2001; *apud* MAXUEL, 2008).

Ainda segundo ELIAS (2001), o conceito moderno de solo reforçado para estruturas de construção e contenção foi desenvolvido entre 1960 e 1970, na França, pelo engenheiro Henri Vidal. Nessa época começaram a surgir vários materiais capazes de reforçar o solo, por causa do rápido desenvolvimento da indústria petroquímica.

O avanço na tecnologia de materiais que possam ser usados como reforço de estruturas de solo foi rápido e notável. Geralmente esses materiais apresentam uma alternativa mais barata que os métodos convencionais, por esse caso, em aproximadamente 40 anos saiu do patamar de tecnologia incipiente ao de tecnologia de ponta, com larga aceitação. Essa técnica de reforçar solo se emprega em projetos de rodovias, portos, canais, mineração, taludes, dentre outros (KOERNER, 1990; *apud* BECKER, 2001).

2.1.2 Pneus

No Brasil atualmente, a classificação e conceituação de resíduos sólidos são regulamentadas pela ABNT⁴, por meio da NBR 10004/87 de Resíduos Sólidos, que diferencia os resíduos de acordo com os seus riscos em potencial ao meio ambiente e à saúde da população, para que sejam remanejados para o local adequado (NBR, 10004/1987).

A vulcanização, processo que hoje é utilizado com a borracha na fabricação de pneus foi inventada por Charles Goodyear em 1839, mas somente em 1845 a tecnologia foi utilizada pelo R. W. Thomson, para fabricação de pneu de borracha (RAMOS, 2005).

Ainda para o mesmo autor, durante os anos seguintes foram estudadas técnicas para melhorar a performance da borracha natural utilizada na vulcanização, mas só após a primeira Guerra Mundial, na Alemanha, foi desenvolvido um novo procedimento para a fabricação de borracha sintética, substituindo a borracha natural que era utilizada até então para a fabricação dos pneus.

Após essa descoberta e inovação na confecção dos pneus feitos de borracha sintética, observou-se sobretudo o ganho na qualidade dos pneus em resistência, conforto e durabilidade. Fizeram com que os mesmos fossem vendidos por todo o mundo de maneira vertiginosamente, por se tratar de um produto de melhor qualidade (RAMOS, 2005).

Na Tabela 2, estão representadas as vendas de pneu para carro de passeio de 1992 a 1995 e a projeção para os anos seguintes.

Tabela 2: Venda mundial de pneus para carros de passeio e projeção, de 1992 á 2005.

Ano	Unidades Vendidas (em milhões)	Crescimento (%)
1992	647,0	---
1993	660,7	2,10%
1994	685,8	3,80%
1995	713,9	4,10%
1996	731,1	2,40%
1997*	745,9	2,00%
1998*	761,3	2,10%
1999*	773,8	1,60%
2000*	789,7	2,10%
2002*	817,8	3,60%
2005*	859,9	5,10%

Fonte: Economist Intelligence Unit (EIU); *apud*, BNDES, 1998.

⁴ Associação Brasileira de Normas Técnicas.

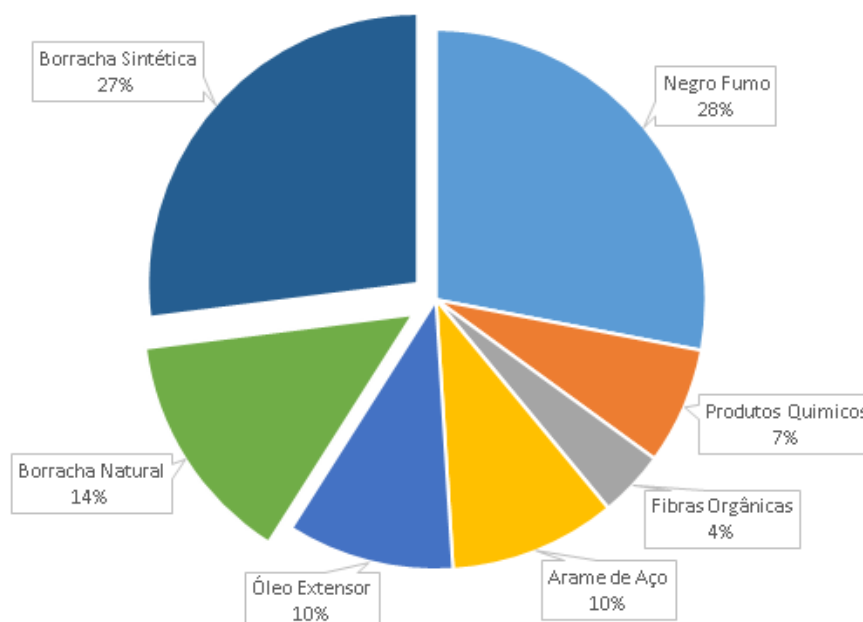
2.1.2.1 Classificação dos pneus

O pneu que é conhecido nos dias de hoje é composto de diferentes materiais, como: estrutura em aço, náilon, *rayon*, fibra de vidro, borracha sintética e natural, fibra de aramide e outros tipos de polímeros, e reforço químico de sílica, resinas e carbono preto, fora isso ainda conta com técnicas para ser antiderrapante, promotores de adesão e agentes de cura (PIRELLI BRASIL, 2007; *apud*, ANDRADE, 2007).

Os Pneus ainda podem se classificados de acordo com sua carcaça em duas classes: convencionais e radiais. A maior parte dos pneus que rodam em carros e caminhões hoje, são radiais, por esses atenderem os novos desenhos de banda de rodagem, oferecendo maior durabilidade, resistência, estabilidade e aderência que os comuns. Por esse motivo o número de pneus rodando no mundo chega a 97% para carros de passeio e 45% para caminhões e ônibus (BNDES⁵, 1998).

No Figura 2, mostra a composição das matérias primas que são utilizadas na fabricação de pneus radiais, alavancando que é constituído de 40% de borracha. Segundo o BNDES, no ano de 1998, a produção mundial de borracha era de 15 milhões de toneladas, sendo que destes 9 milhões de toneladas era destinada a fabricação de pneumáticos.

Figura 2: Composição de pneus radiais de automóveis



Fonte: BNDES, 1998

⁵ Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

2.1.2.2 Pneus Inservíveis

O método que até anos atrás era o mais convencional para se “livrar” dos pneus inservíveis, era a queima a céu aberto, o que prejudicava o ar e o meio ambiente devido o lançamento dos gases tóxicos na atmosfera, provenientes da fumaça composta de carbono e o dióxido de enxofre. A queima também polui o solo por liberar óleo que pode contaminar o lençol freático, também não se pode guardar em lugares inadequados, pois podem servir para a procriação de mosquitos e pequenos animais que transmitem vários tipos de doenças (CIMINO, ZANTA, 2005 *apud* ANDRADE, 2007).

O recolhimento, armazenagem e reciclagem de pneus inservíveis traz muita dor de cabeça e preocupação aos estados brasileiros, pelo fato dos procedimentos dependerem de um alto custo, tais como a função de transportar, armazenar e os procedimentos necessários para sua reutilização. Desta maneira, várias alternativas são elaboradas para minimizar e reduzir os resíduos (ANDRADE, 2007).

Ainda segundo o autor, devido a dimensão do problema que se tornou destinar corretamente pneus após sua vida útil, muitas alternativas foram criadas para o destino adequado destes resíduos, como por exemplo, a utilização na engenharia civil na forma de matéria prima com finalidade de agregar valor ao produto após a utilização principal dele.

Na Figura 3, mostra depósito ao ar livre de pneus inservíveis.

Figura 3: Depósito de Pneus Inservíveis nos EUA.



Fonte: ANDRADE, 2007

Entretanto, não se pode esquecer o pneu que chegou no fim da sua vida útil, ainda pode ser reformado, pelo método da recapagem, recauchutagem ou remoldagem, e apenas aqueles que são classificados como não-reformáveis se tornam inservíveis (ANDRADE, 2007).

2.1.2.3 Utilização de Pneus Inservíveis na Engenharia

Em 1995, começou no Brasil a utilização de borracha de pneus em concreto betuminoso asfáltico. A incorporação de pequenas partículas de borracha, também vem sendo pesquisada pelo Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – USP, que realiza ensaios e avaliações para se obter dados sobre o uso dessa matéria prima (BERTOLLO, 2000).

Em estudo realizado pela PUC-RJ se determinou que a utilização de borracha moída de pneus inservíveis em meio ao solo argiloso trouxe aumento na resistência ao cisalhamento, a amostra de borracha utilizada foi obtida pela moagem e selecionado em peneiras apropriadas, com diâmetros de 1,0 mm variando de 0,2mm a 0,2mm (RAMIREZ; CASAGRANDE, 2014).

2.1.3 Pavimentação

Com o avanço dos séculos e da produção, tornou se necessário a evolução no transporte de produtos, até chegar na maneira que é utilizado e executado nos dias atuais. Existem diversos modais para transporte de cargas e pessoas, dentre esses: aéreo, hidroviária, ferroviário, rodoviário, entre outros. No Brasil, o modal mais utilizado é o rodoviário, com mais de 203 mil quilômetros pavimentados e outros 129 mil quilômetros planejados para receber pavimento (SNV – 2014; DNIT – 2014).

O método construtivo dos pavimentos antigos e atuais se assimilam entre si, dos romanos de 300 a.C. até os dias de hoje várias alternativas que foram estudadas, e até utilizadas, não conseguiram tornar a realização do produto final mais acessível economicamente, encontrar algo que possa diminuir o gasto da execução e ainda aumentar a qualidade do pavimento, seria de grande ganho para engenharia (BALBO 2007; *apud*, COUTINHO, 2011).

2.1.4 Ensaio de Compactação

O termo Proctor é uma homenagem ao engenheiro Ralph Proctor, que em 1933 mostrou que a densidade que um solo atinge quando compactado sob uma dada energia de

compactação depende da umidade do solo no momento do adensamento de suas partículas, ou seja, depende da quantidade de água que o solo contém durante a compactação do solo (KADDOUR *et al.*, 2002, *apud* FERNANDES, 2009).

Para Fernandes (2009), o ensaio de compactação Proctor é um método realizado em laboratório para determinar experimentalmente a densidade máxima do maciço terroso, condição que otimiza o empreendimento com relação ao custo e ao desempenho estrutural e hidráulico. O ensaio consiste em compactar uma porção de solo em um cilindro com volume conhecido, fazendo-se variar a umidade de forma a obter o ponto de compactação máxima no qual obtém-se a umidade ótima de compactação. O ensaio pode ser realizado em três níveis de energia de compactação, conforme mostra a Tabela 3: normal, intermediária e modificada.

A principal variável para se atingir a máxima compactação ou a maior massa específica aparente seca, é o teor de umidade, existe uma porcentagem exata para cada tipo de solo, que é determinada em laboratório pelo ensaio de compactação Proctor, regido pela NBR 7182, que define a porcentagem ótima de umidade para o solo atingir a máxima massa específica.

O Ensaio de Proctor pode ser realizado com dois tamanhos de cilindro-molde, um com 10 cm de diâmetro e outro com 15 cm, aproximadamente, cada um depende da modalidade do ensaio para ser escolhido, isso também serve para os soquetes, que tem dois tamanhos, um com 2,5 kg e altura de queda de 30 cm e outro com 4,536 kg e altura de 45,7cm. O tipo de cilindro e soquete é definido a critério do ensaio a ser executado, no caso do ensaio ISC é utilizado o cilindro e soquete grande. Entretanto, a energia de compactação dos Corpos de Prova (CP) deve ser definida através da energia prevista que haverá sobre o pavimento. Na Figura 4 estão os equipamentos utilizados para o ensaio de compactação

Figura 4: Equipamentos ensaio de compactação.



Fonte: Perta, 2016.

Com a amostra já preparada de acordo com a NBR 9895/87 e a definição do tamanho do cilindro e o tipo do soquete, o Ensaio de Proctor pode ser iniciado seguindo os seguintes passos da NBR 7182/86.

O valor da energia de compactação (E) é concebido através da Equação 1:

$$E = \frac{P.h.N.n}{V} \quad (1)$$

Onde:

“P” representa o peso do soquete (Kg);

“h” refere-se à altura do soquete (cm);

“N” número de golpes por camada;

“n” número de camadas;

“V” representa o volume do solo compactado (cm³).

Lembrando que o valor do ensaio normal de compactação é de 5,95 kg.cm/cm³. Segundo Maschio *et al.* (2008), com o desenvolvimento das técnicas de compactação e para atender as exigências do padrão de compactação (equipamentos maiores e mais pesados, aumento da produtividade), foram feitas modificações nas energias de compactação com relação a original, onde o ensaio Proctor modificado apresentou uma energia de compactação de 27,4 kg cm/cm³, e o ensaio proctor intermediário o valor de 12,9 kg cm/cm³. A Tabela 3, refere-se à energia de compactação, relacionando o tamanho do cilindro com o soquete.

Tabela 3: 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

Fonte: NBR 7182/86

2.1.5 Ensaio ISC

Para Silva (2010), do Índice de Suporte Califórnia (ISC) ou Califórnia Bearing Ratio (CBR), foi desenvolvido por Porter em 1929, direcionado o uso exclusivamente para pavimentação rodoviária, somente mais tarde engenheiros adaptaram o ensaio para dimensionamento de pistas de aeroportos, sendo até hoje o parâmetro mais utilizado nesse quesito.

O ensaio ISC, cujo procedimento é regido no Brasil pela norma DNER-ME 049/94, tem a resistência do ensaio ISC como uma resposta que combina indiretamente a coesão com o ângulo de atrito do material, segunda Bernucci (2008). Definido como a relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo ou material granular e a pressão necessária para produzir a mesma penetração no material padrão referencial.

Na área de pavimentação, o *Califónia Bearing Ratio* – CBR, é sem sombra de dúvidas um dos mais notáveis ensaios para a avaliação de comportamento do solo. Segundo o DNIT (2006), o ensaio de ISC é a relação de pressão necessária para a penetração de um pistão em um corpo de prova, que defina o índice de suporte do local de onde a amostra foi retirada.

Este procedimento além de demonstrar as características físicas de suporte, também pode ser utilizado como parâmetro para dimensionar pavimentos flexíveis, método que define a resistência de materiais granulométricos que são utilizados em pavimentações (ELIAS, 2011).

As amostras de solo utilizadas para os ensaios têm que obedecer algumas características, conforme a Tabela 4 da NBR 9895/87.

Tabela 4: 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	maior que 10	ver nota abaixo
19	maior 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 despreza 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.		

Fonte: NBR 9895/87

Após o peneiramento do solo seco, adicionar água destilada no mesmo até obter a umidade ótima. Para efetuar o ensaio de Proctor seguindo a NBR 7172, a energia que será utilizada no ensaio já deve estar definida para as 5 camadas e após esse procedimento deve-se montar o corpo de prova (CP) para o ensaio do ISC, obedecendo a NBR 9895.

Concluídas etapas anteriores, deve-se retirar o colarinho do Corpo de Prova, vira-lo de ponta cabeça, retirar o molde cilíndrico e fixá-lo de volta a base. Inserir o prato perfurado, aplicar as cargas permanente (4 meias anilhas) e posicionar o extensômetro. O CP deverá ser submerso para o ensaio de expansão por 96 horas, sendo que necessário a leitura do equipamento a cada 24 horas do ensaio.

Na Figura 5, estão os equipamentos todos utilizados para o ensaio ISC, inclusive o soquete do ensaio de compactação.

Figura 5: Equipamentos ISC.



Fonte: Fortest, 2016.

Após realizado o ensaio de expansão deve-se retirar o extensômetro, as anilhas e o prato perfurado, deixando o corpo de prova em descanso por 15 minutos para escorrer o excesso de água. Após esse período deve-se repor somente as anilhas e levar a amostra para a penetração ajustando o equipamento para que o pistão entre em contato com a amostra, antes de ligar a prensa.

Deverá ser determinado os valores em milímetros lidos a cada período de tempo em que pede a NBR 9895 (ANEXO 01) na prensa elétrica, que tem velocidade constante de penetração de 0,05 polegadas por minuto. Na Figura 6, está a prensa de ISC.

Figura 6: Prensa para ISC.



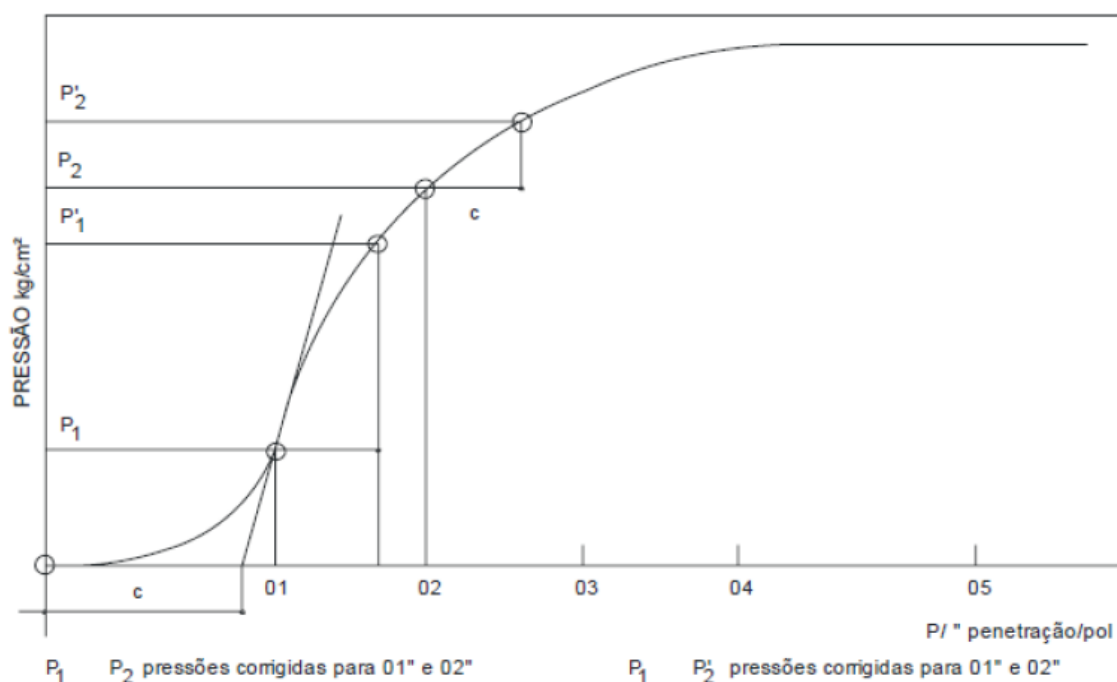
Fonte: Petrodidática, 2016.

Ainda segundo ELIAS (2011), o resultado obtido constará em uma curva pressão x penetração, e valor em porcentagem é obtido através da formula 2, lembrado que o valor adotado para o ISC é o maior entre 0,1 e 0,2 polegadas. Dentre as leituras coletadas na prensa, as mais importantes são as de 2 e 4 minutos que são utilizadas para o cálculo final.

$$ISC = \frac{\text{Pressão calculada ou corrigida}}{\text{Pressão padrão}} * 10 \quad (2)$$

A Figura 07 representa o esquema da curva pressão x penetração para o DNIT (2006).

Figura 7: Esquemático da curva para determinar o ISC.



Fonte: DNIT, 2006.

No gráfico, tem a representação da quantidade de pressão necessária para haver as penetrações para 2,54 mm e 5,08mm, que são utilizadas para se obter o valor do ISC.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa proposta para esse trabalho, foi realizado o ensaio *California Bearing Ratio* (CBR), no Laboratório de Mecânica dos Solos da FAG com solo do Campo Experimental de Engenharia da Faculdade Assis Gurgacz (CEEFAG).

A abordagem da pesquisa será quantitativa e descritiva. É quantitativa, pois será fundamentada na coleta de dados, utilizando instrumentos estruturados e métodos específicos de experimentação. Também é considerada descritiva, visto que tende a correlacionar conceitos teóricos a levantamentos de dados. No caso deste trabalho, a pesquisa busca auxiliar a viabilidade da utilização de borracha de pneu triturada junto com solo superficial do Campo Experimental de Engenharia da FAG em Cascavel (CEEF).

A metodologia também foi do tipo descritiva, pois o trabalho destinou-se a relacionar os dados obtidos na metodologia quantitativa, com o embasamento teórico pela ABNT, especificados pela NBR 9895/1987, além de obras bibliográficas, que utilizaram a borracha com solo e demonstraram mudanças no comportamento do solo natural.

3.1.1 Caracterização da amostra

A cidade de Cascavel/PR, possui um solo característico do tipo tropical argiloso residual, laterítico e colapsível, apresentando comportamento de areia em seu estado natural. Para este tipo de solo, as edificações ficam suscetíveis a ocorrências de recalque devido ao adensamento das camadas (CARDOSO et al., 2003).

Os solos lateríticos são típicos da evolução em climas quentes e úmidos, podendo ser encontrados principalmente em regiões tropicais. Usualmente possuem uma fração de argila constituída principalmente por minerais cauliníticos e uma alta concentração de alumínio e ferro em forma de óxidos e hidróxidos, que lhe dá a típica coloração avermelhada deste tipo de solo. A colapsibilidade do solo ocorre devido ao aumento do raio dos meniscos capilares, responsáveis pela tensão de sucção, isto causa a diminuição da resistência destes solos, pois o teor de umidade é um dos parâmetros que influencia na resistência do solo (CORRÊA, 2015).

O estudo em questão, realizou-se no Campus Experimental de Engenharia da FAG (CEEF), que se localiza na Avenida das Torres nº500, Bairro FAG, na cidade de Cascavel,

região oeste do estado do Paraná. A Figura 8 mostra o local da CEEF, que se encontra dentro da instituição do Centro Universitário Assis Gurgacz, próxima do centro de fisioterapia.

Figura 8: Local onde se encontra o CEEF.



Fonte: Google Maps, 2016.

No dia 31/08/2016, foi coletada uma amostra de solo, na cota -1 metro (Figura 9), de aproximadamente 40 quilos de solo.

Figura 9: Local da retirada da amostra.



Fonte: Autor, 2016.

Para a realização do ensaio, foram feitas adições de borracha de pneu inservível triturado que passa em peneira com abertura de 0,68 mm, em cinco dosagens diferentes de borracha 0,5%, 1%, 2,5%, 5% e 7,5%, afim de se verificar a influência na capacidade de suporte em relação ao solo natural, que não tem características para que possa ser utilizado como sub base de pavimentação *in natura*, para obter os dados da comparação foi realizado o ensaio ISC (Califórnia Bering Ratio) altamente difundido no ramo da pavimentação no Brasil, seguindo preceitos da NBR 9598/8.

3.1.2 Ensaio Laboratoriais

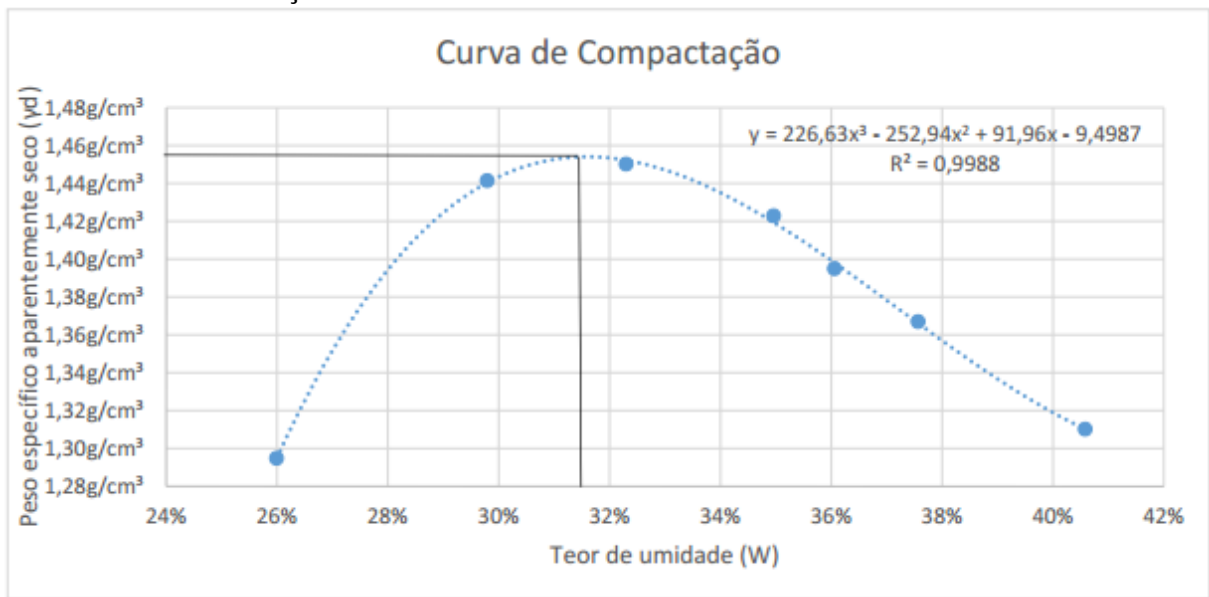
3.1.2.1 Ensaio de Compactação

Para o trabalho proposto, seguiu-se os procedimentos da NORMA 7182 (ABNT,1986) na montagem dos corpos de prova para ensaio ISC. Os processos foram os seguintes:

- Destorroamento do solo;
- Secagem em estufa por 24 horas, entre 105 e 110 C°;
- Adicionar agua até atingir a umidade ótima e borracha triturada;
- Deixar a mistura homogênea;
- Montar o corpo de prova, em cilindro grande;
- Fazer a primeira camada, aplicando 26 golpes com o soquete grande;
- Escarificar o topo da camada, como se fosse uma “raspagem” para deixar o topo plano;
- Fazer mais 4 camadas, seguindo os últimos 2 passos;
- Antes de fazer a compactação com o soquete, aplicar um pedaço de plástico, para o solo não ficar em contato direto com o soquete e prejudicar a compactação.

A energia intermediaria de compactação aplicada por Sidney (2015), foi aplicada nessa pesquisa com o auxílio de um soquete graduado e um corpo de prova padronizado pela NBR 9895, para a determinação do ISC de base e sub-base característico de rodovias de trafego normal. Para a moldagem dos corpos de prova do ensaio ISC, utilizou-se a umidade ótima de 31,5% para o solo do Campo Experimental de Engenharia da FAG conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1: Determinação da umidade ótima do solo da CEEF.



Fonte: Sidney, 2015.

3.1.3 Índice de Suporte Califórnia (ISC).

A moldagem do corpo de prova: solo ou material passado na peneira $\frac{3}{4}$ ", conforme critérios da NBR 9895, compactado na massa específica e umidade de projeto, em um molde cilíndrico de 150mm de diâmetro e 125mm de altura, provido de um anel complementar de extensão com 50mm de altura (BERNUCCI, 2008). Na Figura 10 demonstram a utilização do soquete e a amostra pronta para utilização no ensaio ISC.

Figura 10: Compactação da amostra.



Fonte: Autor, 2016.

Imersão do corpo de prova: foi imergido o cilindro com a amostra compactada dentro, em um depósito cheio d'água, durante quatro dias. Durante todo o período com emprego de sobrecarga-padrão de 10lbs sobre o corpo de prova, que corresponde a 2,5 polegadas de espessura de pavimento sobre o material. Foram realizadas as leituras por meio de um extensômetro, a cada 24 horas, calculando-se a expansão axial do material em relação à altura inicial do corpo de prova.

A Figura 11, mostra a imersão dos corpos de prova em água para medida de expansão axial (BERNUCCI, 2008).

Figura 11: Corpos de prova imersos.



Fonte: Autor, 2016.

Para o cálculo de expansão das quatro leituras feitas a cada 24 horas, utiliza-se a Equação 3, retirada da NBR 9895/87.

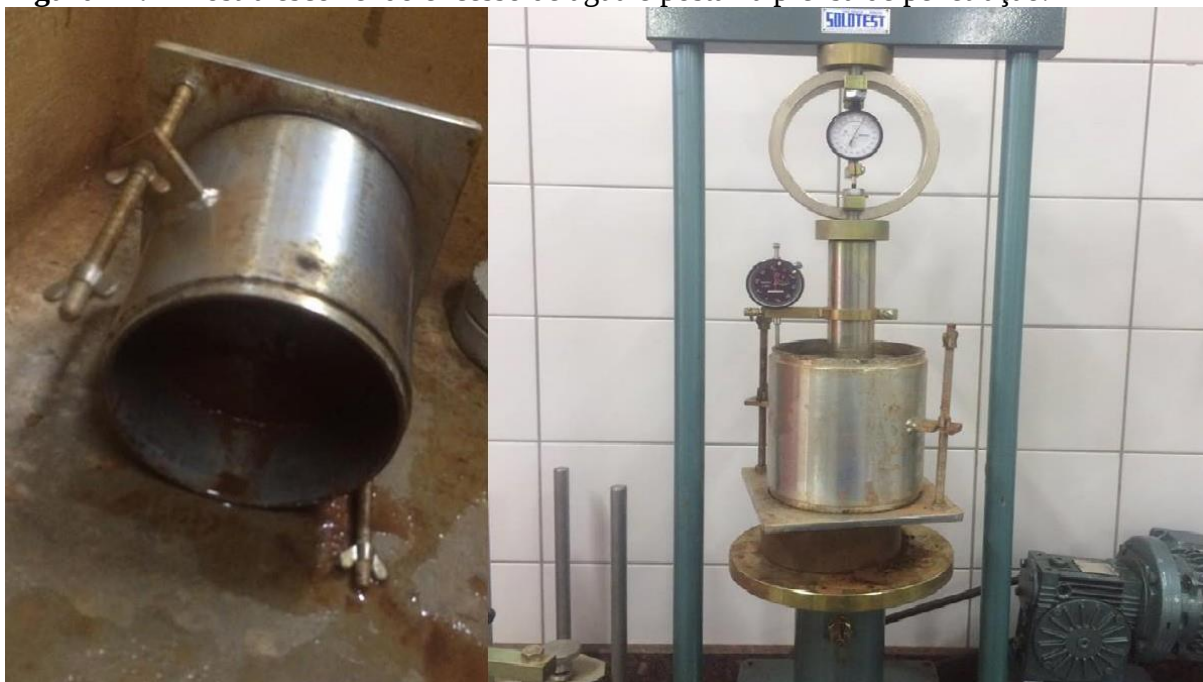
$$Expansão (\%) = \left(\frac{Leitura\ final - Leitura\ inicial\ do\ extensometro}{Altura\ inicial\ do\ Corpo\ de\ Prova} \right) * 100\% \quad (3)$$

Depois de submergido por 96 horas, a amostra foi para a prensa de penetração, após escoamento do excesso de água por 15 minutos, assim que pronto o corpo de prova foi levado para o punção na face superior da amostra por um pistão de aproximadamente 5 centímetros de diâmetro, sob velocidade de 1,25 mm/minuto.

Foram anotadas as pressões do pistão e os deslocamentos, para caracterização da curva pressão-penetração, registrando os dados por tempo ensaiado, seguindo tabela do Anexo 01 (BERNUCCI, 2008).

Na Figura 12, são apresentadas imagens da drenagem do corpo de prova por 15 minutos da amostra e a mesma posicionada na prensa de penetração, respectivamente.

Figura 12: Amostra escorrendo excesso de água e posta na prensa de penetração.



Fonte: Autor, 2016.

As pressões padrões em N/mm^2 das penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm, que são utilizadas para a determinação do valor do ISC dos ensaios são de 6,9 e 10,35 N/mm^2 , respectivamente.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os procedimentos realizados estão aqui apresentados na seguinte sequência: apresentação do valor do ISC e da expansão das amostras.

4.1.1 Solo-Natural

Para se fazer a comparação com as amostras solo-borracha com o solo em estado natural, foi utilizado o ensaio de Sidney (2015), que aproveitou do mesmo solo da CEEF para executar o ensaio ISC, assim obtendo os valores do solo *in natura*.

Na Tabela 5, estão expressos os valores encontrados por Sidney (2015) para o solo sem adição qualquer.

Tabela 5: Resultado do ensaio ISC com o solo em estado natural

Penetração (mm)	Pressão (N/mm ²)				ISC (%)		
	CP-1	CP2	CP-3	Padrão	CP-1	CP-2	CP-3
2,54	0,94723	0,99070	0,97985	6,90	13,75	14,36	14,20
5,08	1,05592	1,11030	1,08853	10,35	10,20	10,73	10,52

Fonte: Sidney, 2015.

Observa-se na Tabela 5, que essa porcentagem para o solo *in natura* ficou em torno de 14%, pois segundo a NBR 9895 utilizar o maior valor entre as penetrações de 2,54mm e 5,08mm, valor este que corresponde ao valor do índice de suporte Califórnia (ISC). O valor obtido pelo ensaio é considerado baixo para o DER/SP (2006).

Segundo Bernucci (2008), a expansão volumétrica em presença de água, o que causa também uma redução da sua resistência, neste caso para o DER/SP (2006), com relação a expansão, se mostra satisfatório, haja visto que o limite para expansão para utilização como base ou sub-base para pavimentação é de 1%.

A Tabela 6, mostra a porcentagem de expansão para três corpos de prova.

Tabela 6: Resultado da Expansão para o solo em estado natural.

0%	Amostras:	CP-1	CP-2	CP-3
	Leitura:	0,20	0,19	0,22
	Expansão:	0,18	0,17	0,20

Fonte: Sidney, 2015.

4.1.2 Solo-Borracha (0,5%)

No ensaio com 0,5% de borracha triturada misturada ao solo, foram destorroados 6,5 quilos de solo seco e adicionados 32,5 gramas de material e 2047,5 mililitros de água destilada para se atingir a umidade ótima.

Na Tabela 7 estão os resultados de ISC, para a adição de 0,5% de borracha.

Tabela 7: Resultado do ISC para 0,5% de borracha adicionada ao solo.

Penetração (mm)	Pressão (N/mm ²)			ISC (%)	
	PI1 0,5%	PI2 0,5%	Padrão	PI1 0,5%	PI2 0,5%
2,54	1,1211	1,18633	6,9	16,25	17,19
5,08	2,37099	2,29487	10,35	22,91	22,17

Fonte: Autor, 2016.

Para a dosagem de 0,5% de borracha ao solo, o valor do ISC aumentou em relação ao solo em estado natural. Em números a média do ISC do solo *in natura* representa apenas 63% do mesmo índice para a dosagem de solo-borracha 0,5%.

Na Tabela 8, exprime-se o resultado de expansão para amostra com teor de 0,5%, obteve-se valores muito proximos dos de solo em estado natural.

Tabela 8: Expansão para o teor 0,5%.

0,50%	Amostra	CP - 1	CP - 2
	Leitura	0,2	0,2
	Expansão (%)	0,17	0,17

Fonte: Autor, 2016.

4.1.3 Solo-Borracha (1%)

Para o ensaio com 1% de borracha triturada misturada ao solo, foram destorroados os mesmos 6,5 quilos de solo seco e adicionados 65 gramas de material e 2047,5 mililitros de água destilada para se atingir a umidade ótima.

Na Tabela 9 estão os resultados de ISC, para a adição de 1% de borracha.

Tabela 9: Resultado do ISC para 1% de borracha adicionada ao solo.

Penetração (mm)	Pressão (N/mm ²)			ISC (%)	
	CP-1	CP-2	Padrão	CP-1	CP-2
2,54	1,64281	1,55584	6,9	23,81	22,55
5,08	2,54486	2,47968	10,35	24,59	23,96

Fonte: Autor, 2016.

Observa-se aumento no valor do Índice de Suporte Califórnia para a dosagem de 1%, muito superior ao solo em estado natural que Sidney (2015) obteve, o acréscimo do ISC foi de 70%. Teve acréscimo também em relação a porcentagem 0,5%, aproximadamente 10% maior o valor do ISC.

A Tabela 10 mostra o resultado de expansão para amostra com teor de 1% e o CP-2 igual ao de solo em estado natural.

Tabela 10: Expansão para o teor 1%.

	Amostra	CP - 1	CP - 2
1,00%	Leitura	0,30	0,20
	Expansão (%)	0,26	0,17

Fonte: Autor, 2016.

4.1.4 Solo-Borracha (2,5%)

Para o ensaio com 2,5% de borracha triturada misturada ao solo, foram destorroados os mesmos 6,5 quilos de solo seco e adicionados 162,5 gramas de material e 2047,5 mililitros de água destilada para se atingir a umidade ótima.

Na Tabela 11 estão os resultados de ISC, para a adição de 2,5% de borracha.

Tabela 11: Resultado do ISC para 2,5% de borracha adicionada ao solo.

Penetração (mm)	Pressão (N/mm ²)			ISC (%)	
	CP-1	CP-2	Padrão	CP-1	CP-2
2,54	0,62117	0,74075	6,90	9,00	10,74
5,08	1,13199	1,25157	10,35	10,94	12,09

Fonte: Autor, 2016.

No ensaio com a adição de 2,5% de borracha, não foi obtido resultado favorável ao número do ISC em comparação ao solo natural, portanto também é menor que as dosagens 0,5% e 1%.

A Tabela 12 mostra o resultado de expansão para amostra com teor de 2,5%, obteve-se expansão maior que os o solo em estado natural e também maior que os resultados das dosagens anteriores.

Tabela 12: Expansão para o teor 2,5%.

2,50%	Amostra	CP - 1	CP - 2
	Leitura	0,40	0,50
	Expansão (%)	0,35	0,44

Fonte: Autor, 2016.

4.1.5 Solo-Borracha (5%)

Para realizar o ensaio com 5% de borracha triturada misturada ao solo, foram destorroados 6,5 quilos de solo seco e adicionados 325 gramas de material e 2047,5 mililitros de água destilada para se atingir a umidade ótima.

Na Tabela 13 estão os resultados de ISC, para a adição de 5% de borracha.

Tabela 13: Resultado do ISC para 5% de borracha adicionada ao solo.

Penetração (mm)	Pressão (N/mm ²)			ISC (%)	
	CP-1	CP-2	Padrão	CP-1	CP-2
2,54	0,19732	0,22451	6,90	2,86	3,25
5,08	0,22993	0,26255	10,35	2,22	2,54

Fonte: Autor, 2016.

No ensaio com a adição de 5% de borracha, podemos observar que não houve melhoria do Índice de Suporte Califórnia, pelo contrário, houve perda do valor de ISC em comparação com todas as dosagens anteriores contando a do solo em estado natural.

A Tabela 14 mostra o resultado de expansão para amostra com 5% adicionado a mistura, obteve-se expansão muito maior do que o solo em estado natural e maior que as dosagens anteriores também.

Tabela 14: Expansão para o teor 5%.

5,00%	Amostra	CP - 1	CP - 2
	Leitura	0,90	1,00
	Expansão (%)	0,79	0,88

Fonte: Autor, 2016.

4.1.6 Solo-Borracha (7,5%)

Para realizar o ensaio com 7,5% de borracha triturada misturada ao solo, foram destorroados 6,5 quilos de solo seco e adicionados 487,5 gramas de material e 2047,5 mililitros de água destilada para se atingir a umidade ótima.

Na Tabela 15 estão os resultados de ISC, para a adição de 7,5% de borracha.

Tabela 15: Resultado do ISC para 7,5% de borracha adicionada ao solo.

Penetração (mm)	Pressão (N/mm ²)			ISC (%)	
	CP-1	CP-2	Padrão	CP-1	CP-2
2,54	0,1919	0,1919	6,90	2,78	2,78
5,08	0,22451	0,23535	10,35	2,17	2,27

Fonte: Autor, 2016.

No ensaio com a adição de 7,5% de borracha, observa-se que não houve melhoria do Índice de Suporte Califórnia, pelo contrário, houve perda do valor de ISC. Dentro todos os ensaios realizados com as diferentes dosagens de solo-borracha, essa foi a que obteve pior desempenho.

A Tabela 16, mostra o resultado de expansão para amostra com 7,5% adicionado à mistura, obteve-se expansão muito maior do que o solo em estado natural e as dosagens anteriores também, exeto para dosagem 5% que os valores de expansão foram bem parecidos.

Tabela 16: Expansão para o teor de 7,5%.

7,50%	Amostra	CP - 1	CP - 2
	Leitura	0,90	0,70
	Expansão (%)	0,79	0,61

Fonte: Autor, 2016.

4.1.7 Índice de Suporte Califórnia do Solo-Borracha

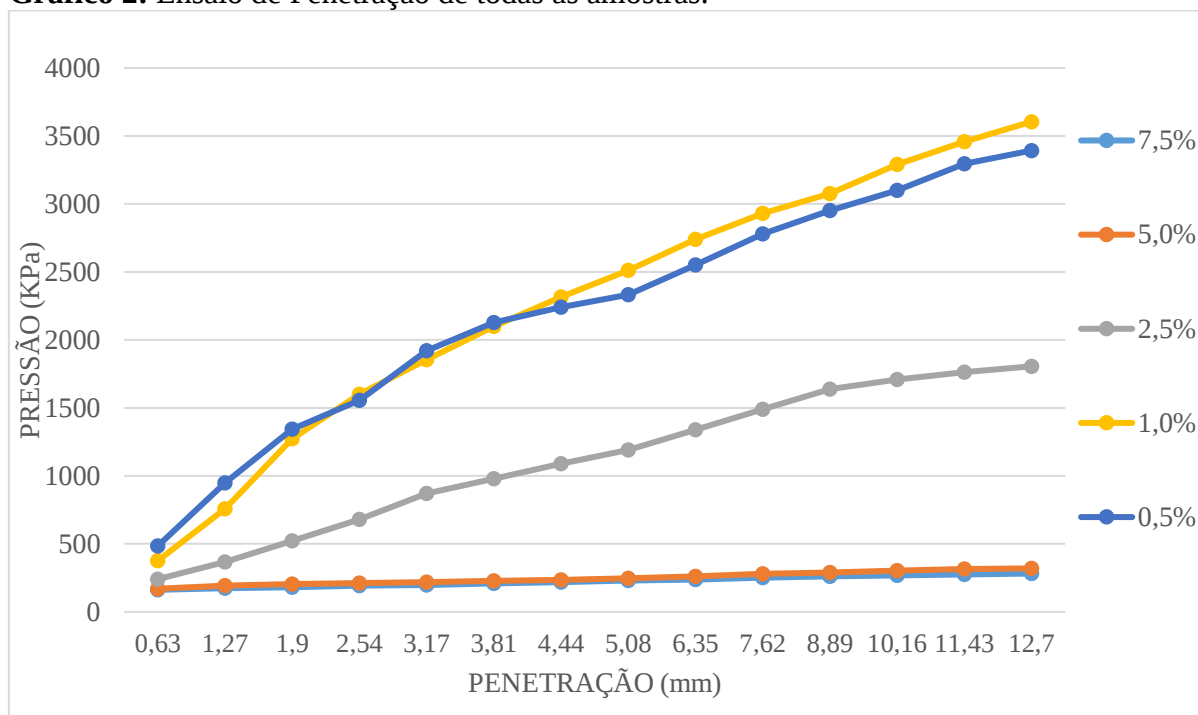
Foram obtidos resultados positivos, em duas das cinco dosagens, na de 1% e na de 0,5%, que na média dos corpos de prova do solo *in natura* e na desse teor de borracha, o acréscimo do valor de ISC chegou a 72,25% maior no teor 1% e 60% maior no teor 0,5% . Na Tabela 17, entram-se todos os valores de ISC e Expansão das amostras de Solo-Borracha e do solo *in natura*.

Tabela 17: Dados gerais obtidos pelo ensaio ISC.

AMOSTRA	CP - 1		CP - 2		CP - 3	
	ISC (%)	EXP (%)	ISC (%)	EXP (%)	ISC (%)	EXP (%)
7,5 % de borracha	2,78	0,79	2,78	0,61	-	-
5,0% de borracha	2,86	0,79	3,25	0,88	-	-
2,5% de borracha	10,94	0,35	12,09	0,44	-	-
1,0% de borracha	24,59	0,26	23,96	0,17	-	-
0,5% de borracha	22,91	0,17	22,17	0,17	-	-
<i>in natura</i>	13,73	0,18	14,36	0,17	14,20	0,20

Fonte: Autor, 2016.

No Gráfico 2 encontra-se os valores de pressão/penetração da média das amostras, para servir como comparação.

Gráfico 2: Ensaio de Penetração de todas as amostras.

Fonte: Autor, 2016.

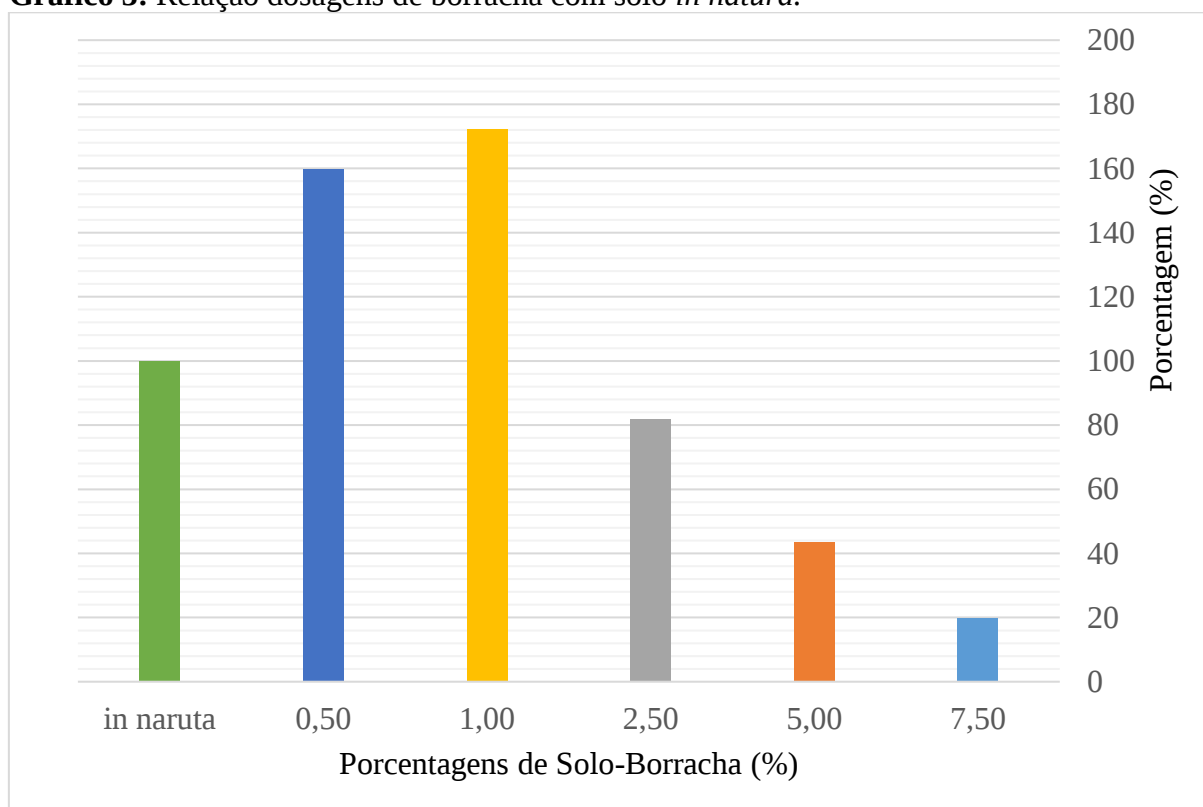
Na Tabela 18, encontra-se a comparação em relação aos dados obtidos por Sidney (2015) do solo *in natura*, com os ganhos de resistência adquiridos das amostras dos vários teores de Solo-Borracha, sendo que o solo *in natura* é representado como 100%.

Tabela 18: Porcentagens das amostras em relação ao solo *in natura*

Adição de borracha (%)	Ganho de resistência ISC (%)
7,50	19,73
5,00	43,36
2,50	81,70
1,00	172,25
0,50	159,91

Fonte: Autor, 2016.

A Tabela 18 mostra que os teores de 1% e 0,5% de borracha triturada que passa em peneira com abertura de 0,68 mm teve acréscimo considerável em relação ao solo *in natura*, cujos quais resultaram em ganho de resistência proporcional à adição até a dosagem de 1% e redução de capacidade de suporte com adições superiores a este valor, conforme disposto no Gráfico 3.

Gráfico 3: Relação dosagens de borracha com solo *in natura*.

Fonte: Autor, 2016.

A partir dos valores de dosagem superiores a 1%, houve redução gradativa da resistência característica do solo que, segundo Pinto (2006), depende primordialmente do atrito entre as partículas. Haja visto que com o acréscimo da dosagem, a presença de finos no solo também

aumentou tendo influência direta na granulometria característica do solo resultando em valores de resistência menores que a do solo *in natura*.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi realizado para verificar o desempenho mecânico e comportamento do solo do Campo Experimental de Engenharia da FAG com adição de borracha tritura de pneu inservível.

Foi possível determinar com esse estudo que a utilização de borracha triturada adicionada ao solo, para determinados teores reduziu o valor do ISC e para dois teores aumentou, as dosagens que não obtiveram resultado positivo foram as de 7,5%, 5% e 2,5% de massa e as que obtiveram sucesso, as que aumentaram consideravelmente o valor do ISC foram as dosagens de 1% e 0,5%.

Para os teores de borracha adicionada ao solo, a que obteve maior valor foi a de 1%, que obteve o valor do ISC maior que a de 0,5%. A pior porcentagem dessa mistura foi a de 7,5% e os valores de ISC foram subindo na medida em que foi adicionado borracha ao solo até a porcentagem de 1% e voltou a diminuir para porcentagem de 0,5%. Sendo assim pode-se determinar que a dosagem de solo-borracha que tem melhor desempenho é a de 1%.

Os resultados obtidos dos ensaios de expansão das amostras seguiram uma sequência gradativa, a menor dosagem 0,5% obteve valores de expansão que foram semelhantes ao do solo em estado natural e conforme a dosagem de borracha adicionada foi aumentando o valor de expansão também aumentava, sendo assim o maior valor de expansão foi obtido para a porcentagem de 7,5%.

A adição da borracha age como correção granulométrica no solo, fornecendo material fino para preencher os espaços vazios na estrutura e aumentando o atrito entre os grãos, fator que pode ser favorável para ganho de resistência. No entanto, observou-se que com os teores de adição superiores a 1%, o material fino não proporcionou ganho de resistência e sim perda. Neste caso, mais estudos deste gênero devem ser realizados analisando resultantes de ensaios de granulometria e peneiramento do material com o intuito de caracterizar a influência do tamanho das partículas no maciço do solo.

Diante disso, conclui-se que a adição de restos de borracha triturada no solo estudado provou-se ser uma boa opção de descarte, porém com adição em dosagens controladas evitando perda de propriedades do solo como resistência característica e comportamento mecânico que pode ter variações inversamente proporcionais a dosagens maiores que a ordem de 5% do material. Os resultados obtidos possibilitam mais estudos específicos sobre o comportamento e

desempenho do solo da cidade de Cascavel-PR e região, podendo servir de bibliografia, permitindo também que projetistas e qualquer um que trabalhe com solo e deseja utilizar esse material tenha conhecimento técnico dos dados obtidos pela pesquisa.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugerem-se alguns temas que se destacaram durante a realização deste, como:

- Verificação da permeabilidade do solo com adição de diferentes dosagens de borracha triturada;
- Comportamento do solo da CEEF com adição de borracha em ensaios triaxiais;
- Fazer o mesmo ensaio com energias de compactações diferentes, para a porcentagem de 1%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H. S. **Pneus Inservíveis: Alternativa possível de Reutilização**. Monografia submetida ao Departamento de Ciências Economicas para aprovação de deiciplina. Florianópolis – SC, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1986. **Amostras de Solo; NBR 6457/1986**, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1986. **Ensaio de Compactação; NBR 7182/1986**, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1986. Solo – **Índice de Suporte Califórnia; NBR 9895/1987**, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1995. **Rochas e Solo; NBR 6502/1993**, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2004. **Classificação de Resíduos Sólidos; NBR 10004/2004**, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 2000. **Rochas e solos; NBR 6502/1995**, Rio de Janeiro-RJ.

BECKER, L. B. **Fluência de Geotêxteis Confinados em Aterro Experimental**. Dissertação para obtenção do título de Mestre em engenharia pela UFRGS. Porto Alegre -RS, 2001.

BNDES. **Pneus – Área de Operação Industrial**. 1998.

BERNUCCI, L. B. **Pavimentação asfáltica. Estudo básico para engenheiro**. Rio de Janeiro – RJ, 2008.

BORTOLLO. **Pneu - Pavimentação Asfáltica: Uma Alternativa Para A Reutilização De Pneus Usados**, 2000.

BUENO, B. S.; VILAR, O.M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: EESC-USP, 1979.

CARDOSO, D. L; MEDEIROS, J. A. **Propriedades geotécnicas da região de Cascavel-PR. In: Anais do I ENGEOPAR – Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense**, Maringá, 2003.

CORRÊA, E. L. **Comparação entre Parâmetros de Resistência Obtidos em Ensaio Triaxiais e por meio de Correlações Empíricas Pelo Ensaio SPT, no Campus da Fag, em Cascavel/Pr**. Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil, da Faculdade Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Cascavel - PR, 2015.

COUTINHO, J. C. P. **Dimensionamento de pavimento asfáltico: comparação do método do DNER com um método mecanístico-empírico aplicada a um trecho**. 2011.184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER/SP) .IP-DE-P00/001.**Projeto de Pavimentação**. São Paulo, 2006.

DNER com Um Método Mecanístico – **Empírico Aplicada a Trecho**. Dissertação apresentada a Universidade Federal de Ouro Preto – Mestrado em Engenharia Geotécnica – Ouro Preto – MG, 2011.

DNER. **Manual de Implantação Básica**. Ministério dos Transportes, 1996.

DNIT. **Determinação do índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**. Revisão da Norma DNER-ME 049/94. DNIT,2014.

ELIAS , F. A. S. **Avaliação de Amostras de Solo Provenientes da Formação Geológica da Província da Borborema em Caruaru – PE para Utilização em Camadas de Base e Sub-Base de Pavimentos Flexíveis**. Dissertação apresentada a Faculdade do Vale do Ipojuca. – Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Civil – Caruaru – PE, 2011.

FACCIO, C. **Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis**. Reciclanip, 2012.

FERNANDES, J. T. **Otimização Estrutural de Materiais Compostos Laminados Usando Superfície de Resposta e Algoritmos Genéticos**. Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, UFPR. Curitiba – PR, 2009.

FRANCO, F. A. C. P. **Método de Dimensionamento Mecânico-Empírico de Pavimentos Asfálticos**. Dissertação apresentada a Universidade Federal do Rio de Janeiro – Doutorado de Engenharia Civil – Rio de Janeiro - RJ, 2007.

FOREST. **Indústria e Comércio**. Disponível em: < <http://fortestindustria.webnode.com.br/>> . Acesso em 05 de set. 2016.

GARCEZ, G. L. **Aplicação de Geossintéticos como Reforço de Base em Obras Viárias**. Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica. São José dos Campos – SP, 1999.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal. Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil**. São Paulo: Editora Pini, 1998.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LAFAYETTE, K. **Ensaio de Laboratório**. UPE-PE – Mestrado em Engenharia Civil, 2001.

LORENZI, V.; LOPES, F. R.; DANZIGER, F. A. B.; LORENZI, G. A. **Avaliação do Desempenho de Estavas Escavadas com o Método de Alargamento de Fuste**. Cascavel – PR, 2012.

MARQUES, G. L. O. **Utilização do Módulo de Resiliência como Critério de Dosagem de Mistura Asfáltica; Efeito da Compactação por Impacto e Giratória**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2004.

MASCHIO, E.; SOUZA, F. C.; MILLEO, I. A. F. **Método Investigativo Para Um Quadro De Especificações De Compactação De Aterros Em Obras de Subestações De Energia**.

Monografia apresentada para pós-graduação da univesidade de Tuiuti – PR, 1998. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/88989322/Obras-de-Aterro-10>> . 01 de nov. de 2016.

MAXUEL, F. **Estrutura de Solo Reforçado**. PUC-RJ, 2008.

NOGAMI, J.S. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Latericos**. São Paulo, 1995.

PERTA. **Equipamentos e Prestação de Serviços**. Disponível em: <<http://www.perta.pt>>. Acesso em 09 de jun. 2016.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PETRODIDATICA. **Equipamentos para ensaios laboratoriais**. Disponível em: <<http://www.petrodidatica.com.br/>> Acesso 05 de set. de 2016.

RAMÍREZ, G. D.; CASAGRANDE, M. D. T. **Estudo Experimental e Numérico de um Solo Argiloso Reforçado com Borracha Móida de Pneus Inservíveis para Aplicações em Obras Geotécnicas**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Cobramseg, 2014.

RAMOS, L. S. N. **A logística Reversa de Pneus Inservíveis: O problema da Localização dos Pontos de Coleta**. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis – SC, 2005.

RECICLANIP. **Reciclagem de pneu precisa de incentivos**. Disponível em: <http://www.paginasustentavel.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=892:reciclagem-de-pneu-precisa-de-incentivos-diz-gerente-da-reciclanip&catid=2:gestao-ambiental&Itemid=10>. Acesso em: 12 de mar. 2016.

RESENDE, E. L. **Canal de Distribuição Reverso na Reciclagem de Pneus**. Dissertação apresentada a Pontifícia Universidade Católica RJ – Mestrado em Engenharia Civil – Rio de Janeiro - RJ, 2004.

SIDNEY, Gustavo Henrique de Oliveira. **Análise da Capacidade de Suporte pelo Método CBR de Solo Laterítico Estabilizado Quimicamente com Adição de Cal Hidratada na**

Região da Cidade de Cascavel/PR. Trabalho de conclusão de curso da Faculdade Assis Gurgacz, 2016.

SUZUKI, D. K. **Verticalização de Aterros Sanitários por meio de Reforço com Geogrelhas e Diques Periféricos Alteados pelo Método de Montante.** Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia, USP. São Paulo – SP, 2012.

VARGAS, M. **Fundamentos da Mecânica dos Solos** (1978). Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABOpCAE/fundamentos-mecanica-dos-solos>>. Acesso em 08 de jun. 2016.

ANEXOS

Anexo 1 - Tabela da NBR 9895/87 – Índice de Suporte Califórnia

Tempo (min)	Penetração (mm)	Leitura (mm)	Carga (N)	Pressão (MPa)
0,5	0,63			
1,0	1,27			
1,5	1,90			
2,0	2,54			
2,5	3,17			
3,0	3,81			
3,5	4,44			
4,0	5,08			
5,0	6,35			
6,0	7,62			
7,0	8,89			
8,0	10,16			
9,0	11,43			
10,0	12,70			

Anexo 2 – Certificado de calibração da prensa elétrica do laboratório de mecânica do solos



Contenco
Indústria e Comércio Ltda

Rua Padre José Dias, 1.689 - Centro
Cep 33350-000 - São José da Lapa - MG - Brasil
PABX (31) 3623-3623 / Fax (31) 3623-3624
E-mail: contenco@contenco.com.br / Site: www.contenco.com.br

Certificado de Calibração N° 6300/2013

Página: 1/2

Cliente

Empresa: T&M – ENGENHARIA E EQUIPAMENTOS LTDA - ME.

Endereço: Av. Pandia Calogeras, 125, Jardim Shangri-la, CEP: 86070-510, Londrina / PR - Brasil.

Data da calibração: 13-03-2013. **Data Emissão:** 13-03-2013.

Ordem de Serviço: .

Equipamento

Nome: ANEL DINAMOMÉTRICO PARA COMPRESSÃO 100 kgf.

Tipo: Instrumento Medição de Força.

Identificação: I-1074 - (Penetrômetro de Solos).

Nº. Série: 90.

Fornecedor: Contenco Indústria e Comércio Ltda.

Faixa Nominal: 100 kgf.

Indicação das Leituras

Modelo: (Jewells Shock-Proof) / Relógio Comparador (1.067).

Fabricante: King Tools.

Faixa Nominal: 10 mm.

Resolução: 0,01 mm.

Resultados da Calibração

VVC		Indicações (mm)				Média das deformações (mm)	Erro relativo de: (%)		U (%)	k
kN	kgf	R0	R90	R180	R270		Indicação	Repetitividade		
0	10	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	-0,14	0,00	4,084	2,000
0	20	0,990	0,990	0,990	0,980	0,988	-0,21	1,02	2,042	2,000
0	35	1,720	1,740	1,740	1,720	1,730	-0,21	1,14	1,167	2,000
0	50	2,500	2,500	2,530	2,510	2,510	0,74	1,17	0,817	2,000
1	75	3,750	3,770	3,780	3,770	3,768	-0,46	0,76	0,545	2,000
1	100	5,100	5,130	5,150	5,140	5,130	0,11	0,92	0,409	2,000

Zero: 0,0 mm (Valor em que o Relógio foi Zerado em F=0).

