

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

MATEUS ANDREETTA LACOMBE

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CIMENTO NOS ÍNDICES DE SUPORTE
CALIFÓRNIA (ISC) DO SOLO LATERÍTICO DE CASCAVEL-PR**

**CASCAVEL - PR
2016**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
MATEUS ANDREETTA LACOMBE

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CIMENTO NOS ÍNDICES DE SUPORTE
CALIFÓRNIA (ISC) DO SOLO LATERÍTICO DE CASCAVEL-PR**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

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

**CASCAVEL - PR
2016**

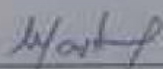
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

MATEUS ANDREETTA LACOMBE

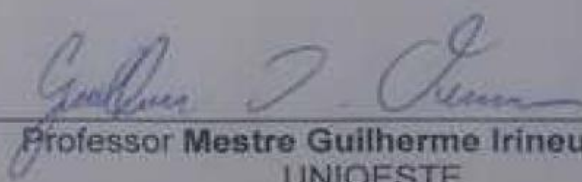
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CIMENTO NOS ÍNDICES DE SUPORTE
CALIFÓRNIA (ISC) DO SOLO LATERÍTICO DE CASCAVEL-PR

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG,
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob
orientação do Professor **Mestre Engenheiro Civil Maycon André de Almeida**.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Professor **Mestre Maycon André de Almeida**
Centro Universitário FAG
Engenheiro Civil



Professor **Mestre Guilherme Irineu Venson**
UNIOESTE
Engenheiro Civil



Professor **Doutor Gustavo Savaris**
UTFPR
Engenheiro Civil

Cascavel, 28 de outubro de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós Therezinha (*In memorian*) e Valentin, pelo exemplo de vida.

A minha mãe Ritamar, por não medir esforços para minha formação.

A minha namorada Nathalie, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha mãe Ritamar, por todo amor e confiança depositadas em mim, pelo apoio financeiro e emocional, mesmo nos momentos de dificuldades.

Aos meus avós Therezinha (*In memoriam*) e Valentin, por todos ensinamentos e conselhos durante minha trajetória.

A Nathalie, pela paciência nas horas difíceis, pelo amor e companheirismo, e por estar sempre ao meu lado.

A Maury pelo apoio financeiro durante minha formação.

Ao meu orientador Eng. Me. Maycon André de Almeida, por compartilhar seus conhecimentos, pelo apoio e dedicação comigo durante a elaboração dessa pesquisa. Pela disponibilização de seus funcionários para a retirada das amostras. Agradeço também por ter sido um excelente professor de Mecânica dos Solos e Fundações durante minha formação.

Aos meus amigos de faculdade, em especial: Jean, Leandro, Evandro, Heloísa, Vilmar, Gustavo, os quais quero levar para sempre.

Agradeço por fim, a todos aqueles que passaram pelo meu caminho durante esses cinco anos, e que deixaram lições e ensinamentos para minha vida.

RESUMO

Para que se tenha o desenvolvimento de uma sociedade é indispensável o investimento em infraestrutura básica, principalmente no que diz respeito às malhas rodoviárias pavimentadas, de forma a garantir maior conforto e segurança aos seus usuários. Este estudo teve como objetivo apresentar a melhoria na resistência do solo laterítico de clima tropical quando adicionado cimento, para utilização como material na camada de sub-base de pavimentação. Foi utilizado dosagens de cimento de 3%, 6%, 9% e 12% em relação à massa seca de solo de forma a analisar qual teor apresentou maior capacidade de suporte e se haveria possibilidade de utilização desses solos estabilizados. Este trabalho desenvolveu-se a partir da coleta de amostras de solo, em um ponto do município de Cascavel-PR, sendo realizado o ensaio laboratorial Índice de Suporte Califórnia, para análise da capacidade de suporte e expansão dos três corpos-de-prova de diferentes teores. Após a realização do ensaio, foi feita uma análise da influência da adição de cimento, tomando como base a capacidade de suporte do solo em seu estado natural. Os resultados apontaram que o melhor comportamento estrutural de todas as adições de solo-cimento ocorreu com a amostra de 9% de cimento, obtendo desempenho satisfatório com o aumento da capacidade de suporte e a diminuição da expansão, podendo ser utilizável segundo a norma do DNIT, ES-142/10 para emprego como material de camada de sub-base de pavimento desse solo. Porém os valores que apresentaram uma maior capacidade de suporte foram com a adição de 6% de cal, tornando esse material economicamente viável para a construção de novos pavimentos.

Palavras-chave: solo-cimento, pavimentação, mecânica dos solos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção Transversal da Via Ápia	19
Figura 2 - Estrutura pavimento flexível.....	21
Figura 3 - Estrutura pavimento rígido	21
Figura 4 - Diagrama de Proctor	32
Figura 5 - Mesmo solo compactado com diferentes energias.....	33
Figura 6 - Molde cilíndrico, cilindro complementar e disco espaçador	37
Figura 7 - Corpo-de-prova encaixado novamente a sua base	38
Figura 8 - Extensômetro fixo ao tripé para anotação da expansão	38
Figura 9 - Gráfico de Correção	40
Figura 10 - Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz.....	43
Figura 11 - Local onde foram retiradas as amostras de solo	43
Figura 12 - Retirada das amostras de solo	44
Figura 13 - Separação das amostras para o ensaio de teor de umidade	46
Figura 14 – Resultados do ensaio de Proctor para determinação da umidade ótima ($W_{ót}$).....	47
Figura 15 - Solo com adição de cimento e adição de água na sua umidade ótima (31,5%).	48
Figura 16 - Compactação do corpo-de-prova	48
Figura 17 - corpo-de-prova escorrendo água Figura 18 - Ensaio penetrométrico	49
Figura 19 - Corpos-de-prova do ensaio de penetração	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Acréscimo na capacidade de suporte em relação ao solo natural	60
Gráfico 2 - Acréscimo de suporte <i>Solo-cal x solo-cimento</i> em relação ao solo <i>in natura</i>	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da Rede Rodoviária Federal e Estadual (Km)	20
Tabela 2 - Classificação granulométrica dos solos	22
Tabela 3 - Classificação dos solos segundo a AASHTO	25
Tabela 4 - Parâmetros de Norma para materiais de base	27
Tabela 5 - Parâmetros de Norma para materiais de sub-base	27
Tabela 6 - Energias de Compactação por impacto	33
Tabela 7 - Critérios de peneiramento	36
Tabela 8 - Leituras obtidas no extensômetro do anel.....	39
Tabela 9 - Expansão das amostras do solo em seu estado natural.....	53
Tabela 10 - Resultados ISC com solo em seu estado natural	53
Tabela 11 - Expansão das amostras do solo com adição de 3% de cimento	54
Tabela 12 - Resultados ISC com adição de 3% de cimento	55
Tabela 13 - Expansão das amostras do solo com adição de 6% de cimento	56
Tabela 14 - Resultados ISC com adição de 6% de cimento	56
Tabela 15 - Expansão das amostras do solo com adição de 9% de cimento	57
Tabela 16 - Resultados ISC com adição de 9% de cimento	57
Tabela 17 - Expansão das amostras do solo com adição de 12% de cimento	58
Tabela 18 - Resultados ISC com adição de 12% de cimento	58
Tabela 20 - Resultados Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão (EXP).....	59
Tabela 20 - Comparação ISC (%) solo-cal x solo-cimento	61

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01: Teor de cimento em peso.....	28
Equação 02: Teor de cimento em volume.....	29
Equação 03: Teor de Cimento, em volume.....	29
Equação 04: Teor de Cimento, em peso.....	29
Equação 05: Peso específico aparente úmido.....	34
Equação 06: Teor de Umidade.....	34
Equação 07: Peso específico aparente seco.....	34
Equação 08: Expansão.....	39
Equação 09: ISC a penetração de 2,54mm.....	41
Equação 10: ISC a penetração de 5,08mm.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS

A-7 – Classificação de solo argiloso pela AASHTO

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

CBR – California Bearing Ratio

CH – Argila inorgânica de alta plasticidade (Classificação SUCS)

CP – Corpo de Prova

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ISC – Índice de Suporte Califórnia

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

SUCS – Sistema Unificado de Classificação dos Solos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	14
1.1. INTRODUÇÃO	14
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.2.1. Objetivo Geral.....	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. JUSTIFICATIVA.....	16
1.4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.5. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	17
CAPÍTULO 2	18
2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1.1. Histórico da pavimentação	18
2.1.2. Pavimentação no Brasil e Situação atual.....	19
2.1.3. Tipos de pavimento	20
2.1.4. Solos.....	22
2.1.4.1. Solos Residuais	23
2.1.4.2. Caracterização do solo laterítico.....	23
2.1.4.3. Solos colapsíveis.....	24
2.1.4.4. Classificação dos solos	25
2.1.4.5. Caracterização do solo da região de Cascavel-Pr	26
2.1.5. Solo-Cimento	26
2.1.5.1. Cimento.....	27
2.1.6. Métodos de dosagem.....	28
2.1.6.1. Teor de Cimento	28
2.1.7. Conceito de estabilização de solos	29
2.1.7.1. Estabilização química	30
2.1.7.2. Objetivo da estabilização do solo com cimento	30
2.1.8. Compactação do solo	31
2.1.8.1. Ensaio de Proctor	31
2.1.9. ISC - Índice de Suporte Califórnia	35
CAPÍTULO 3	42
3.1. METODOLOGIA	42

3.1.1. Tipo de estudo e local da pesquisa	42
3.1.2. Caracterização da Amostra.....	42
3.2. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.....	44
3.2.1. Extração das amostras deformáveis	44
3.2.2. Cimento	45
3.2.3. Dosagens	45
3.3. ENSAIOS LABORATORIAIS.....	45
3.3.1. Ensaio de Proctor	45
3.3.2. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia -ISC	47
3.4. COLETA DE DADOS	50
3.5. ANÁLISE DE DADOS	51
CAPÍTULO 4	52
4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1.1. Ensaio de Compactação Normal - PROCTOR	52
4.1.2. Preparação das Amostras	54
4.1.3. Índice de Suporte Califórnia	54
4.1.3.1. Solo-Cimento (3%).....	54
4.1.3.1. Solo-Cimento (6%).....	55
4.1.3.2. Solo-Cimento (9%).....	57
4.1.3.3. Solo-Cimento (12%).....	58
4.1.3.4. Comparação entre os teores de cimento	59
4.1.3.5. Comparação Solo-Cimento x Solo-Cal	61
CAPÍTULO 5	63
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
CAPÍTULO 6	65
6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

CAPÍTULO 1

1.1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Ministério dos Transportes (2012), 52% do transporte brasileiro é rodoviário, desta forma, é fundamental que se tenha um grande investimento para a construção de novas rodovias, e manter as existentes, sendo uma parte indispensável da infraestrutura. Deve ser pensado em tecnologias de modo a garantir uma maior durabilidade e conforto aos seus usuários, pois o grau de desenvolvimento de uma sociedade está diretamente ligado ao grau de sofisticação dos seus sistemas de transporte.

O transporte rodoviário é essencial para o crescimento econômico do país, pois por meio deste, é garantido o transporte de matérias primas, desenvolvimento agropecuário, industrial, setor de serviços, também como acesso a opções de trabalho, lazer entre outros.

Uma permanente busca por melhorias na eficiência e desempenho de pavimentos está relacionada com a procura de materiais não naturais, de baixo custo, e que apresentem características apropriadas à sua utilização. Nesse contexto surge o solo-cimento, como ótima alternativa para sanar os problemas de dimensionamento na construção de novas estradas.

O solo por muitas vezes não fornece sozinho parâmetros de resistência suficiente para sua finalidade, por isso são utilizados materiais com propriedades cimentícias de maneira a melhorar o comportamento do solo sob carregamento, sendo o cimento e a cal hidratada muito utilizados para esse fim.

A cal hidratada é utilizada na área de estabilização de solos, pois além de ter uma alta velocidade na cura devido a flocculação inicial, possui um preço cerca de 30% mais barato quando comparado ao cimento Portland. Porém a falta de estudos na dosagem específica de cal para cada tipo de solo é um fator impactante para sua utilização na construção da sub-base de pavimentos rodoviários.

Quando tratado com cimento, o solo tem apresentado grande ganho de resistência e rigidez, sendo uma solução técnica e economicamente viável para diminuir-se a espessura da camada aplicada à sub-base de pavimentos, pois é uma mistura de cimento, solo e água cujo principal objetivo é o melhoramento das características estruturais do mesmo.

Segundo Almeida (2008), no que diz respeito à dosagem, se a rigidez da mistura cimentada for muito elevada (altos teores de cimento), poderá vir a ocorrer a existência de

trincas transversais de retração na camada cimentada, logo após a construção. O aparecimento de trincas demonstra a perda da capacidade de suporte da camada cimentada e as cargas solicitantes que deveriam ser absorvidas pelo solo estabilizado, são transferidas para outra camada de solo havendo deformações plásticas.

A capacidade de suporte do subleito e dos materiais constituintes do pavimento é obtida através do ensaio de (ISC) Índice de Suporte Califórnia, que consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente.

Macedo (2004), lembra que essa metodologia é baseada em classificações geotécnicas empregadas em países de clima temperado, diferentemente do Brasil que possui clima tropical, podendo assim, haver ruptura prematura ou super dimensionamento, especialmente em casos de solos estabilizados quimicamente.

Este trabalho foi elaborado de forma a apresentar uma melhoria na resistência do solo de clima tropical, quando adicionado cimento, analisando qual foi o teor que apresentou maior capacidade de suporte, para melhoria da estabilidade e eficiência do solo, obtendo assim um maior custo-benefício na implantação como material de sub-base de pavimentação.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Analisar a influência de diversos teores de solo-cimento no Índice de Suporte Califórnia de solo superficial laterítico e colapsível de Cascavel/PR.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar ensaios ISC (Índice de Suporte Califórnia) com adição de cimento nas dosagens 3%, 6%, 9% e 12%, na camada superficial de solo;

- Avaliar o resultado de melhoramento da estabilidade do solo-cimento para com solo natural, por meio de análises quantitativas e descritivas;
- Comparar os resultados obtidos de solo-cimento com misturas solo-cal.

1.3. JUSTIFICATIVA

O transporte rodoviário brasileiro abrange aproximadamente 60% da movimentação de diversos serviços, porém, conforme dados do (DNIT) Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2014), apenas 12,9% dessas estradas são pavimentadas. Desta forma, para que haja construção de novos pavimentos asfálticos há necessidade de estudos relacionados a produtos, técnicas e capacitação dos recursos humanos (BERNUCCI *et al*, 2006).

Conforme Tiscoski (2009), diversos aditivos químicos são utilizados em obras de pavimentação de modo a melhorar as características físicas e mecânicas do solo, isto é, sua estabilidade, que se reflete no ganho de resistência do material. Um dos aditivos mais utilizados é o cimento, pois é possível aplicá-lo a vários tipos de solo.

Desta forma, o trabalho foi realizado com o intuito de obter um conhecimento mais aprofundado teoricamente, vinculado a práticas laboratoriais, conhecendo assim suas peculiaridades para que seja feita a prevenção de problemas que possam ocorrer nos pavimentos.

Com a compreensão do comportamento do solo quando adicionado cimento, tornar-se-á mais fácil a tomada de decisões, para viabilizar a execução de pavimentos em locais onde o solo apresenta baixa capacidade de suporte, principalmente quando há dificuldades na importação de materiais mais competentes para a construção do subleito de fundação.

Sendo assim, analisar a influência da adição de cimento no solo, através de ensaios de Índice de Suporte Califórnia com várias dosagens diferentes, tornou-se um passo fundamental, tendo em vista verificar qual a melhor porção de cimento para este solo laterítico, característico da região de Cascavel-PR.

1.4. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A adição de porcentagens de cimento em solo superficial e laterítico característico de Cascavel/PR irá melhorar significativamente sua resistência, a fim de proporcionar uma maior economia no dimensionamento de pavimentos flexíveis? A adição de cimento possui custo-benefício melhor do que a mistura solo-cal?

1.5. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada ao estudo do solo superficial laterítico do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, da região de Cascavel/PR. O trabalho delimitou-se em verificar o comportamento do solo quando adicionado cimento no (ISC) Índice de Suporte Califórnia, observando o método de ensaio estabelecido pela NBR 9895/87, com as dosagens de 3%, 6%, 9% e 12% em relação à massa seca para um total de 3 ensaios de ISC por amostra.

CAPÍTULO 2

2.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1. Histórico da pavimentação

A história da pavimentação remete-se à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento.

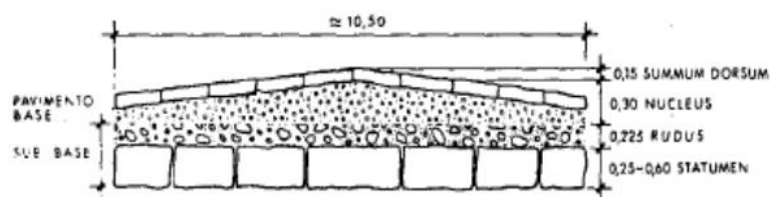
Saunier (1936 *apud* Bernucci *et al* 2006), relata que a primeira estrada pavimentada de que se tem conhecimento, não foi para uso de veículos com rodas, mas sim, para pesados trenós no Egito (2600-2400 a.C.), destinados ao transporte de cargas elevadas, na construção das pirâmides.

A evolução das estradas foi ocorrendo também na Babilônia, no Império Grego e Persa. Em 200 a.C. ficaram conhecidos os velhos caminhos da China e Índia, uma das rotas de comércio mais antigas e historicamente importantes, para a comercialização de bens e a pregação do budismo, exercendo grande influência nas culturas da China, Índia, Ásia e Ocidente (BITTENCOURT 1958 *apud* BERNUCCI *et al* 2006).

Segundo Hagen (1955 *apud* Bernucci *et al* 2006), a maior parte do planejamento da construção viária foi atribuído aos romanos para fins militares. Estes foram os primeiros a utilizar estradas desenvolvidas já com características técnicas.

A primeira camada da estrutura constituía-se o *Statumen* composta por pedras brutas, mais planas possíveis, para impedir a retenção de água. A mistura de areia e pedras eram denominadas *Rudus*, que juntamente com o primeiro, forma a sub-base do pavimento. O *Nucleus* era composto de pedras trituradas, areia compactada e cal, que posteriormente se assentava o *Summum Dorsum*, podendo ser pedras basálticas ou pedras calcárias, que era o revestimento conhecido na época, como mostra a Figura 1 (ORTEGA, 2014).

Figura 1 - Seção Transversal da Via Ápia



Fonte: BLANCO (1987)

Desta forma os pavimentos foram evoluindo até os dias atuais e são usados pelos arqueólogos para examinar a forma de vida das civilizações antigas.

2.1.2. Pavimentação no Brasil e Situação atual

Foi em 1861, com a inauguração da estrada União Indústria, que ligava Petrópolis (RJ) a Juiz de Fora (MG), que a história do rodoviarismo no Brasil começava a ser descrita, pois foi a primeira a ser concessionada do Brasil e a primeira a usar macadame como base/revestimento, representando um marco na modernização da pavimentação e do país (PREGO 2001 *apud* BERNUCCI *et al* 2006).

Porém, até a criação do (DNER) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem em 1937, pelo presidente Getulio Vargas, não houve grandes avanços. Até o final dessa década o Brasil contava com apenas 423km de rodovias pavimentadas, entre federais e estaduais, e avançou somente, devido a tecnologia desenvolvida durante a 2ª Guerra Mundial, no início da década de 1940 (PREGO 2001 *apud* BERNUCCI *et al* 2006).

Mesmo havendo um avanço das rodovias em escala industrial por volta de 1950, o Brasil ainda possuía uma das menores extensões da América Latina e até hoje desfruta de uma condição precária de desenvolvimento nesse aspecto (BERNUCCI *et al*, 2006).

A Tabela 1 abaixo retrata a evolução da rede rodoviária Federal e Estadual de 1970 a 2007 das vias pavimentadas.

Tabela 1 - Evolução da Rede Rodoviária Federal e Estadual (Km)

Ano	FEDERAL			ESTADUAL		
	Pavimentada	Não-pavimentada	Total	Pavimentada	Não-pavimentada	Total
1970	24.146	27.394	51.540	24.431	105.040	129.471
1975	40.190	28.774	68.964	20.641	86.320	106.961
1980	39.685	19.480	59.165	41.612	105.756	147.368
1985	46.455	14.410	60.865	63.084	100.903	163.987
1990	50.310	13.417	63.727	78.284	110.769	189.053
1993	51.612	13.783	65.395	81.765	110.773	192.538
2003	57.143	14.049	71.192	84.352	111.410	195.762
2005	58.149	14.651	72.800	98.377	109.963	208.340
2007	61.304	13.636	74.940	106.548	113.451	219.999

Fonte: Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros (2006)

Segundo Bernucci *et al* (2006), o investimento em infraestrutura rodoviária se encontra bem inferior às necessidades do país, havendo uma crescente insatisfação do setor produtivo. Este apresenta-se em grande parte deficiente, e estima-se um valor de R\$10 bilhões para recuperação total.

Bernucci *et al* (2006), ainda explica que a malha rodoviária brasileira encontra-se em condições insatisfatórias aos usuários, quanto ao desempenho, segurança e economia. Com a disponibilidade de equipamentos de laboratório e de campo é possível haver um melhor entendimento dos materiais e métodos de projeto, podendo assim, usufruir desse conhecimento para construção de novas estradas.

2.1.3. Tipos de pavimento

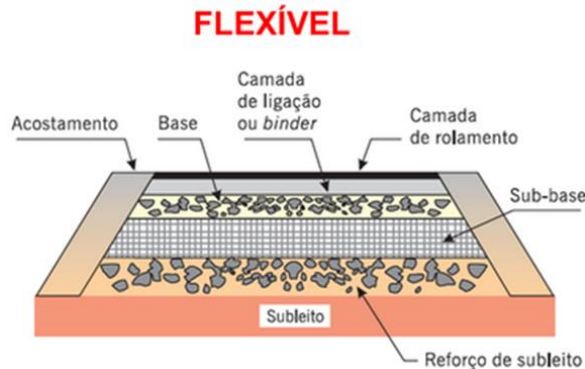
Segundo Santana (1993 *apud* Marques 2012), pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, de forma a garantir a máxima qualidade e o mínimo de custo.

O DNIT (1994 *apud* Moura 2011) classifica os pavimentos em três grupos distintos: pavimento flexível, pavimento rígido e pavimento semirrígido.

Segundo o DNIT (1994 *apud* Moura 2011), pavimento flexível consiste em uma camada superficial asfáltica apoiadas sobre camadas de base, sub-base e reforço do sub-leito, apoiada sobre o leito da estrada, com a camada de rolamento adaptando-se quando necessária.

A Figura 2 exibe o corte de uma estrutura de pavimento flexível. Adada (2008), explica que as deformações, até um certo limite, não rompem. São dimensionados a compressão e a tração na flexão, levando a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga.

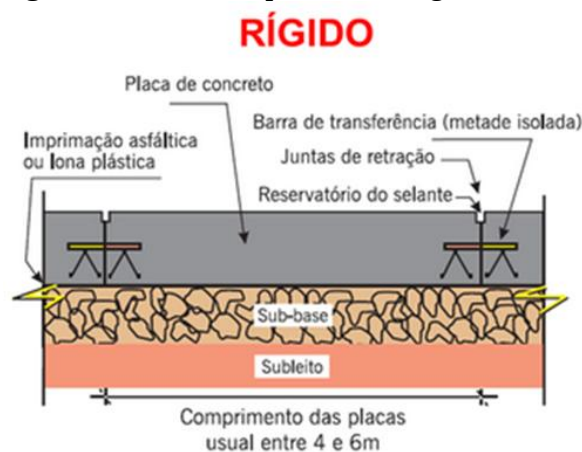
Figura 2 - Estrutura pavimento flexível



Fonte: Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros (2006)

Conforme o DNIT (1994 *apud* Moura 2011), pavimento rígido é aquele que possui o revestimento constituído de concreto de cimento. Adada (2008) explica que a estrutura de pavimento rígido é pouco deformável pois constitui-se de concreto de cimento Portland, que sujeitos a deformação rompem-se por tração na flexão. A Figura 3 exibe o corte de uma estrutura de pavimento rígido.

Figura 3 - Estrutura pavimento rígido



Fonte: Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros (2006)

De acordo com o DNIT (1994), possui ainda o pavimento semi-rígido sendo aquele que possui uma deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível, constituído de uma base semiflexível cimentada quimicamente (solo-cal, solo-cimento) e de camada superficial flexível (concreto asfáltico, tratamento superficial betuminoso).

2.1.4. Solos

Segundo Senço (1997), por influência de diversos processos físicos, físico-químicos e biológicos o solo se forma, resultante de transformações de uma rocha mãe, por uma estrutura solta e removível e de espessura variável.

Quando se pretende utilizar o solo como material componente de uma camada de pavimento, deve-se requerer um estudo prévio de qualidade e controle rigoroso durante a aplicação (SENÇO, 1997).

Segundo Lima *et al* (2012), classificar o solo é uma forma de organizar o conhecimento existente a respeito de algo, além de permitir conhecer as qualidades e limitações, poder prever o comportamento e identificar o uso mais adequado para cada solo.

De acordo com Pinto (2006), o tamanho das partículas do solo é a primeira característica que diferencia os solos, fazendo com que haja uma grande diversidade de seus grãos, podendo ser classificados pela NBR 6502/95, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação granulométrica dos solos

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	de 20cm a 1m
Pedra	De 6cm a 20cm
Pedregulho	De 2mm a 6cm
Areia Grossa	De 0,6mm a 2mm
Areia Média	De 0,2mm a 0,6mm
Areia Fina	De 0,06mm a 0,2mm
Silte	De 0,002mm a 0,06mm
Argila	Inferior a 0,002mm

Fonte: NBR 6502 (1995)

Senço (1997) classifica o solo quanto à sua origem, devido a agentes do intemperismo (de ordem física, química, físico-química e biológica), sendo eles locais ou levados de outros lugares, dividindo-se em: solos de alteração ou residuais, formados devido a processos de intemperismo, dependentes da rocha matriz e dos agentes biológicos (VAZ, 2003); solos transportados, sendo aqueles que sofreram erosão e foram transportados para outros locais, formando depósitos de partículas; e solos superficiais que são produtos da ação dos agentes naturais sobre os solos residuais e transportados (SENÇO, 1997).

2.1.4.1. Solos Residuais

Segundo Martínez (2003), um acúmulo de solo residual se forma quando a velocidade de decomposição da rocha mãe supera a de arraste (pelo vento, chuva etc.) dos produtos de decomposição.

Segundo Mendes (2008), o modo de ocorrência da formação dos solos residuais tropicais estão diretamente ligados à mineralogia e a microestruturas destes, sendo assim, em regiões tropicais o processo de decomposição através do intemperismo favorece na formação de argilominerais com presença de caulinita.

Conforme Pinto (2006), os solos argilosos são em sua grande maioria provenientes do basalto, os de areia média, silte e argila são originários de granito e os solos siltosos oriundos de gnaiss, sendo essa composição física dos solos residuais condicionada pela rocha-mãe.

Os solos residuais se caracterizam pela sua heterogeneidade, no qual reflete dificuldade na determinação de suas propriedades em ensaios laboratoriais, pois é possível que em uma mesma amostra apareçam diversas características (PINTO, 2006).

2.1.4.2. Caracterização do solo laterítico

Segundo Zorzi (2008), a coloração típica do solo laterítico pode ser: vermelho, amarelo, marrom e laranja, devido a presença de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio e predominantemente ou quase exclusivo a permanência de caolinita como argilo-mineral.

Segundo (Nogami et al 1985 *apud* Marangon 2004), o solo laterítico em sua maioria possui granulometria menor que 2mm de diâmetro, podendo dispor em sua composição pedregulhos lateríticos denominados de lateria, sendo esses muito aproveitados na construção de rodovias, apresentando-se por meio de massas consolidadas, maciças ou porosas em função de serem compostas com a mesma mineralogia dos solos lateríticos.

O quartzo é um dos minerais mais encontrados nos solos superficiais lateríticos, sendo predominantemente sua composição de areia e pedregulho. A laterita ou concreção laterítica é um outro mineral frequentemente encontrado na fração de pedregulho dos solos superficiais lateríticos, composta de óxidos hidratados de ferro e de alumínio, que associa a magnetita, ilmenita, hematita e sobretudo o quartzo (ZORZI, 2008).

Segundo Pinto (1998), os solos lateríticos apresentam-se na natureza geralmente não saturados, com índice de vazios elevado, e, conseqüentemente, capacidade de suporte não muito elevada, porém podendo ser reestruturado a partir de compactação. Após compactado, apresenta contração se o teor de umidade diminuir, mas não apresenta expansão na presença de água.

2.1.4.3. Solos colapsíveis

Segundo Azeredo *et al* (1998), os solos colapsíveis ao serem umedecidos reduzem significativamente o seu volume, tendo como característica uma estrutura porosa (alto índice de vazios) e condição não saturada (baixo teor de umidade ou grau de saturação), fazendo a água eliminar as cimentações entre as partículas e a coesão aparente (devido a capilaridade) provocando o colapso.

O termo colapso para Gutierrez (2003), é empregado na caracterização de deformações bruscas que ocorrem devido ao umedecimento do solo.

Segundo (Barden *et al* 1969 *apud* Gutierrez *et al* 2003) para que ocorra o fenômeno do colapso é necessário a elevação do teor de umidade, atuação de um estado de solicitações externas, presença de tensão de sucção, e saturação suficiente para que ocorra a separação das partículas do solo.

Podendo o solo entrar efetivamente em colapso, ocasionará inclinações de prédios, desnivelamento acentuado entre estruturas e os terrenos adjacentes, trincas no terreno, em pavimentos e em edificações, afundamentos e formação de cavidades que resultarão em danos

como: inutilização da construção, devido a recalques excessivos, desabamento das edificações, rompimentos de galerias, entre outros (CERRI; AMARRAL, 1998).

2.1.4.4. Classificação dos solos

Segundo Vaz (1996), os solos podem ser classificados diferentemente conforme a finalidade de seu uso. Para uso agrícola utiliza-se a classificação pedológica. Do ponto de vista geotécnico, existem diversas classificações, como a (AASHTO) American Association of State Highway and Transportation Officials e SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos) que fornecem características gerais de um solo, e também, a mais comum, que é a classificação granulométrica (pedregulho, areia, silte e argila) especificada pela NBR 7181/84.

Para o dimensionamento de rodovias, a referência quanto à classificação dos solos é realizada segundo a AASHTO, que em português significa Associação Norte-Americana de Dirigentes de Departamentos Estaduais de Estradas de Rodagem e de Transporte Público, muito utilizada, pois classifica o comportamento geral como subleito, conforme Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Classificação dos solos segundo a AASHTO

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)							Materiais siltsos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 / A-7-6
Peneiração: % que passa: Nº 10 Nº 40 Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltsos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Fraco a pobre			

Fonte: Manual de técnicas de pavimentação (2007)

2.1.4.5. Caracterização do solo da região de Cascavel-Pr

O solo de Cascavel é um solo residual proveniente do Basalto, classificado pedologicamente como latossolo vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1997) e geotecnicamente como A-7 pela AASHTO e CH pela SUCS (CARDOSO *et al*, 2003).

Nogami e Villibor (1995), explicam que os solos lateríticos são típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, muito intemperizados, formados por argilas, que devido ao clima, apresentam alta porosidade e ótima resistência mecânica no seu estado natural, porém baixa resistência quando saturados.

A resistência mecânica no estado natural é dada pelo atrito entre flocos de argila, que por sua vez, são formados por várias partículas de argilas unidas entre si através de um agente cimentante. Por ser um solo fino muito adensável, quando saturado, essas ligações se rompem causando o colapso do solo, o que explica a classificação pelo sistema rodoviário como regular a mau para uso em rodovias.

No caso de pavimentos, o solo de baixa resistência, como o de Cascavel, acarreta a necessidade de uma sub-base maior, a fim de proteger o subleito das cargas de tráfego, já que este não possui características físicas para suportá-las (MARX, 2014).

2.1.5. Solo-Cimento

O solo-cimento é um produto endurecido obtido mediante proporções estabelecidas através de dosagens, por meio de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, decorrente de uma cura (NBR 12023/1992).

A água também é um objeto de estudo e ensaios para a possibilidade de utilização. Não deve conter teores nocivos de sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica (SENÇO, 2001).

Segundo o DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes), órgão responsável pela malha rodoviária federal, há parâmetros de aceitação para que os materiais utilizados nas camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários possam ser utilizados.

A Tabela 4 a seguir apresenta a condição de dispor dos materiais de base em relação a capacidade de suporte - ISC e a expansão conforme as especificações do serviço do DNIT, ES-142/10 para base de solo melhorado com cimento.

Tabela 4 - Parâmetros de Norma para materiais de base

Parâmetros da Norma	Base de solo melhorado com cimento
ISC	≥ 80
Expansão	$\leq 0,5$

Fonte: DNIT ES-142 (2010)

A Tabela 5 apresenta os parâmetros de ISC e expansão para os materiais de sub-base conforme as especificações de serviço do DNIT ES-140/10 de solo melhorado com cimento.

Tabela 5 - Parâmetros de Norma para materiais de sub-base

Parâmetros da Norma	Sub-Base de solo melhorado com cimento
ISC	≥ 30
Expansão	≤ 1

Fonte: DNIT ES-142 (2010)

2.1.5.1. Cimento

Segundo a NBR 11578/1991, cimento é um aglomerante hidráulico, resultante da mistura homogênea de clínquer Portland e de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozzolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos.

Como explica Senço (1997), sob uma determinada análise química, os principais componentes encontrados são: Cal - CaO ; Sílica - $\text{Si} \cdot \text{O}_2$; Alumina - Al_2O_3 ; Óxido de ferro - Fe_2O_3 ; Magnésia - MgO ; Álcalis - Na_2O e K_2O e Sulfatos - SO_3 .

Segundo Senço (1997) as matérias-primas para a fabricação do cimento (calcário, argila e gesso), são encontradas nos produtos minerais. As porcentagens desses componentes são previstas nas especificações, embora não haja total coincidência quanto aos valores.

2.1.6. Métodos de dosagem

Segundo Senço (2001), para a obtenção de uma base ou sub-base de solo-cimento com características adequadas, quanto ao comportamento sob a ação do tráfego, o primeiro requisito é a utilização de um teor adequado de cimento Portland misturado com solo pulverizado. A segunda condição é que a mistura seja feita com um teor ótimo de umidade, uma vez que antes da hidratação do cimento, ela seja devidamente compactada, a fim de atingir a massa específica máxima exigida.

Conforme Senço (2001), verifica-se que a dosagem da mistura solo-cimento-água deverá, a partir da escolha do solo, determinar os teores ótimos dos outros dois materiais – cimento e água – fornecendo, ao construtor, os dados necessários para o cálculo das quantidades e as especificações visando à obtenção de uma base dentro das normas do projeto.

2.1.6.1. Teor de Cimento

Pode-se realizar a dosagem de cimento no solo em volume ou massa, sendo mais prático utilizar em laboratório o peso do teor de cimento. Porém na execução da base, fica mais fácil utilizar o teor de cimento em volume (SENÇO, 2001).

Segundo Senço (2001), a relação percentual entre a massa de cimento e a massa de solo seco se configura no resultado do teor de cimento em peso. É expressa pela Equação 1 do teor de cimento em peso.

$$C_p = (m_{ci} / m_s).100\% \quad (01)$$

Sendo:

C_p = teor de cimento, em peso;

m_{ci} = massa de cimento;

m_s = massa do solo seco.

Segundo Senço (2001), a relação percentual entre o volume de cimento e o volume da mistura solo-cimento se configura no resultado do teor de cimento em volume. É expressa pela equação do teor de cimento em volume (Equação 02).

$$C_v = (v_{ci} / v_s).100\% \quad (02)$$

Sendo:

C_v = teor de cimento, em volume;

v_{ci} = volume de cimento;

v_s = volume do solo-cimento compactado.

Relacionando as duas expressões acima, obtém-se as seguintes equações (Equação 03 e Equação 04).

$$C_v = [100.C_p(100 + C_p)].(\gamma_{sc}/\gamma_{ci}) \quad (03)$$

$$C_p = 100 / [(100 / C_v).(\gamma_{sc}/\gamma_{ci}) - 1] \quad (04)$$

Sendo:

γ_{sc} = massa específica máxima do solo-cimento

γ_{ci} = massa específica do cimento, para efeito prático utiliza-se = 1,43g/cm³ (SENÇO, 2001). Pode ser variável de acordo com o tipo e o fabricante.

2.1.7. Conceito de estabilização de solos

Segundo Marques (2009), estabilizar um solo é atribuir a capacidade de resistir e suportar as cargas e os esforços induzidos pelo tráfego e também as ações erosivas de agentes naturais, sob as condições mais adversas de solicitação consideradas no seu dimensionamento.

Segundo Baptista (1976 *apud* Beja e Lucena 2011), os métodos de construção da pavimentação capazes de suportar as cargas de tráfego, sem grandes deslocamentos, desgaste excessivo e desagregação devido a intempéries, são o que definem a estabilização dos solos tratados com ou sem aditivos.

Cordeiro (2007 *apud* Beja e Lucena 2011) explica que estabilizar um solo envolve fatores como: as propriedades de resistência mecânica do mesmo, método de bases econômicas e práticas, e construção.

Para Lima (1993 *apud* Beja e Lucena 2011), o domínio das técnicas de estabilização dos solos pode levar a reduzir o tempo de execução de obras, possibilitando a industrialização do processo construtivo, e, como consequência, uma menor economia para o empreendimento.

2.1.7.1. Estabilização química

Segundo Marques (2012), a estabilização química para solos granulares visa principalmente melhorar sua resistência ao cisalhamento (causada pelo atrito grão a grão), por meio de adição de pequenas quantidades de ligantes nos pontos de contato dos grãos. Para solos argilosos (coesivos), é comum a adição de agentes químicos que provoquem a dispersão ou floculação das partículas, por serem mais sensíveis à água, influenciando na resistência ao cisalhamento.

2.1.7.2. Objetivo da estabilização do solo com cimento

A estabilização com cimento Portland difere-se devido ao teor de cimento. Se tem como objetivo um enrijecimento significativo do solo, empregam-se percentuais em massa em geral, na ordem de 6 a 10% e denomina-se essa mistura de solo-cimento. Caso o objetivo for uma melhoria parcial das propriedades, principalmente trabalhabilidade conjugada com certo aumento de capacidade de suporte, os percentuais variam de 2 a 4% e denomina-se essa mistura de solo melhorado com cimento (DNER-ES 305 1997 *apud* BERNUCCI *et al* 2006).

Segundo Ceratti (1991 *apud* Bernucci et al, 2006), o uso de solo-cimento para base e sub-base tem mostrado êxitos com relação a resistência à tração e compressão, durabilidade e módulo de resiliência.

Segundo Macedo e Motta (2006 *apud* Bernucci et al, 2006), baixo teor de cimento é utilizado principalmente para alterar a plasticidade e melhorar a trabalhabilidade de certos

solos ou para atender as especificações granulométricas. Apesar do teor de cimento ser baixo, poderá vir a ocorrer uma significativa perda de deformabilidade e uma diminuição da expansão na presença de água.

2.1.8. Compactação do solo

Segundo Massad (2003), compactar um solo é reduzir de qualquer forma, mais ou menos rápida, o índice de vazios, por processos mecânicos. Ocorre relacionada a expulsão ou compressão do ar dos vazios dos poros.

Ainda segundo Massad (2003), o objetivo da compactação é desferir uma homogeneização e melhorias das suas propriedades, como por exemplo: ganho da resistência ao cisalhamento, redução de recalques e aumento da resistência à erosão.

2.1.8.1. Ensaio de Proctor

Segundo Massad (2003), no final da década de 1930, o engenheiro O. J. Porter, da California Division of Highways, EUA, desenvolveu um método para determinar o ponto ótimo de compactação dos solos, ou o ponto de máxima compactação.

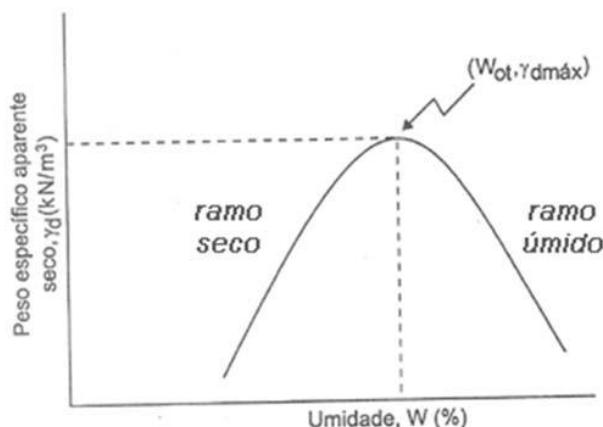
"Para ele, o resultado da compactação era a redução do volume de ar dos vazios, concluindo que ela era uma função da umidade dos solos. Dependendo da quantidade de água, o ar comunica-se com a atmosfera através de "canais", sendo, portanto, mais facilmente expulso, ou, então, fica preso na água na forma de "bolhas", quando é passível de compressão ou dissolução na água" (Massad, 2003, pg. 148).

Massad (2003) explica que a quantidade de água, considerada através da umidade, é parâmetro decisivo na compactação, ao lado da energia de compactação.

Conforme Massad (2003), foi Proctor quem padronizou o ensaio, em meados de 1933, divulgando o fato. Por isso, foram batizados com seu nome o ensaio de compactação (Ensaio de Proctor), a curva do sistema (Curva de Proctor), e o desenho (Diagrama de Proctor). A

Figura 4 mostra o diagrama de Proctor, apresentando o ponto onde as duas retas se encontram no pico da parábola (ponto ótimo de compactação).

Figura 4 - Diagrama de Proctor



Fonte: Escola Engenharia (2014)

Segundo Massad (2003), o método de Porter era empírico e consistia em compactar uma porção de solo em laboratório, com uma certa energia de compactação, variando a umidade. O gráfico relacionando peso específico seco (γ_d) X umidade (W), tinha uma curva parecida com uma parábola e permitia definir um ponto ótimo de compactação. Resultando, assim, um peso específico seco máximo ($\gamma_{d\max}$), e uma umidade ótima (W_{ot}).

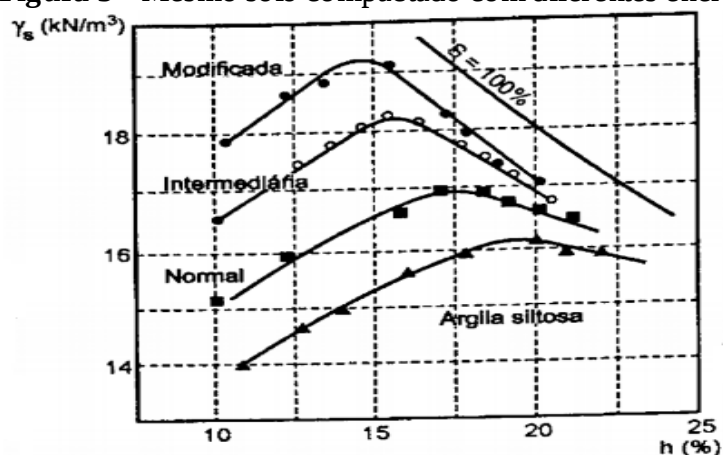
O ensaio consiste em adicionar certa quantidade de água a uma determinada porção de solo, uniformizando-o para desmanchar os torrões e distribuir bem a umidade. Em seguida, coloca-se o solo num molde cilíndrico, de dimensões padronizadas (1.000 cm^3), até um terço da sua altura útil. Logo após, o solo é compactado, aplicando-se uma energia por impacto, que consiste em deixar cair uma massa de $2,5\text{kg}$ de uma altura de $30,5\text{ cm}$, 26 vezes. Repete-se todo o processo completando três camadas. Pesa-se o molde com o solo, e obtém-se o peso úmido e o seu peso específico natural. Após 24 horas, dispondo da umidade, calcula-se o peso específico seco, sendo possível lançar um ponto da curva no diagrama de Proctor. O procedimento é realizado por diversas vezes até uma boa definição da curva de compactação (MASSAD, 2003).

Conforme a NBR 7182/86, o ensaio de Proctor pode ser realizado em três níveis de energia de compactação distintas: normal, intermediária e modificada.

Segundo Massad (2003), os parâmetros de compactação dos solos, dependem da energia de compactação. Tem-se que quanto maior é a energia, maior é o valor do peso específico seco máximo ($\gamma_{d\max}$) e menor é o valor da umidade ótima (W_{ot}).

A Figura 5 a seguir, demonstra como se comporta um mesmo solo, compactado com diferentes energias de compactação.

Figura 5 - Mesmo solo compactado com diferentes energias



Fonte: Massad (2003)

A Tabela 6 abaixo esclarece como são realizados os ensaios de Proctor com as demais energias de compactação.

Tabela 6 - Energias de Compactação por impacto

Designação	Massa (Kg)	Altura de queda (cm)	Número de camadas	Número de golpes	Volume do cilindro (cm³)	Energia (kg . cm/cm³)
Proctor Normal	2,5	30,5	3	26	1000	5,9
Proctor Normal	4,5	45,7	5	12	2000	6,2
Intermediária	4,5	45,7	5	26	2000	13,4
Modificado	4,5	45,7	5	55	2000	28,3

Fonte: Massad (2003)

O procedimento a seguir, redigido pela NBR 7182/88, indica o passo a passo do ensaio:

- a) Aproximadamente 10kg de solo deixados em estufa por 24 horas.
- b) Posteriormente o solo é previamente deixado ao ar, destorroado e passado na peneira de 19 e 4,8mm, resultando em 5kg.
- c) Inclui uma certa porção de água, destinada para o ensaio, em torno de 5% abaixo da umidade ótima estimada, homogeneizando a mesma.
- d) O material é preparado no cilindro de compactação, ocupando 1/3 da altura útil do cilindro, em três camadas distintas, desferindo 26 golpes de soquete por camada, escarificando previamente em cada nível.
- e) Leva o corpo de prova para a balança e lê-se o peso específico e a umidade obtida do corpo de prova.
- f) Para obtenção dos próximos pontos da curva, destorroa-se o corpo de prova e adiciona-se mais água em intervalos de 2% da umidade, ficando 2 pontos abaixo, 2 acima e 1 no entorno da umidade ótima.

Após a moldagem e compactação do corpo de prova é feito o cálculo para determinação dos seguintes parâmetros:

- Peso específico aparente úmido, seguindo a Equação 05:

$$\gamma = \frac{M_t}{V_t} \quad (05)$$

- Teor de Umidade de uma amostra do interior do CP, através da Equação 06:

$$W = \frac{M_w}{M_s} \quad (06)$$

- Peso específico aparente seco, expressa pela Equação 07:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+w)} \quad (07)$$

Com 5 ou 6 pares de valores γ_d e W obtidos, constrói-se por ajuste manual aos pontos a curva de compactação e dela estima-se os valor de $\gamma_{d \max}$ e $W_{ót}$, tendo assim, seu ponto ótimo de compactação

2.1.9. ISC - Índice de Suporte Califórnia

O (CBR) California Bearing Ratio, por tradução (ISC) Índice de Suporte Califórnia, pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de maneira padronizada, um pistão numa amostra de solo, e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, na mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada, ou material equivalente (SENÇO, 1997). A resistência no ensaio ISC é uma resposta que combina indiretamente a coesão com o ângulo de atrito do material (BERNUCCI *et al*, 2006).

Segundo Silva *et al* (2010 *apud* Sidney 2016), o ensaio CBR foi idealizado por O.J. Porter, no final dos anos 30, voltado aos serviços de pavimentação, a fim de definir a resistência dos materiais granulares. Mais tarde foi adaptado para projeto de pavimentos, quando o U.S. Corps of Engineers associou os resultados CBR a uma outra família de curvas.

O ISC é um dos métodos de caracterização geotécnica de solos mais difundidos no mercado. Trata-se essencialmente de um ensaio de compressão em uma amostra de solo deformada, com características de umidade e densidade alteradas, controladas por procedimentos da NBR 9895/87 Solo: Índice Suporte Califórnia (MARX, 2014).

A execução do ensaio se dá logo após o fornecimento do teor de umidade ótima pela realização do ensaio de Proctor. O procedimento a seguir está aqui apresentado na seguinte sequência: Moldagem do corpo de prova, imersão do corpo de prova e penetração do corpo de prova:

- Moldagem do corpo-de-prova:
 - a) Primeiramente, separam-se bandejas, adicionando o solo e deixando em secagem em estufa por 24h, numa temperatura entre 105 e 110°C.
 - b) Após esse período, faz-se o destorroamento do solo passando-o na peneira 19 e 4,8mm, conforme critérios da Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Critérios de peneiramento

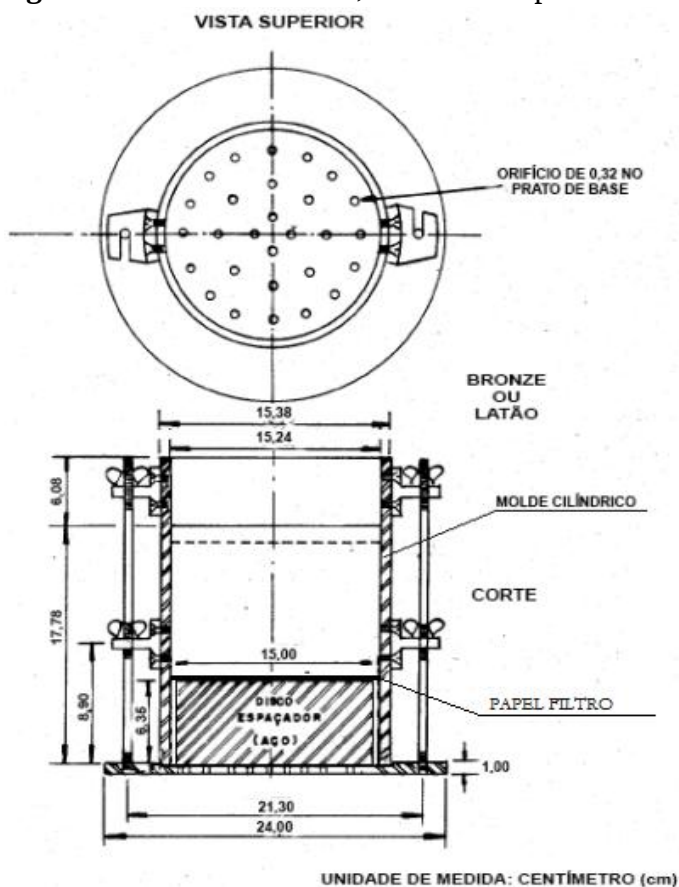
Peneira (mm)	% de material retido:	Observação:
4,8	menor que 7	desprezar o material retido
19	menor que 10	desprezar o material retido
19	maior que 10	ver nota abaixo
19	maior que 30	não ensaiar de acordo com a presente Norma

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

Fonte: NBR 6457 (1986)

- c) Posteriormente, adiciona-se água a fim de que se obtenha a massa específica e umidade ótima (31,5%), fazendo a homogeneização de todo o material.
- d) Em seguida, prepara-se o molde cilíndrico de 152,4mm de diâmetro interno e 177,8mm de altura, em sua base metálica perfurada de 149mm de diâmetro e 5mm de espessura, constituída de duas partes fixas rosqueadas. Ajusta-se um anel complementar de extensão com 60,8mm de altura, entorno dum disco espaçador de 150mm de diâmetro com 63,5mm de altura e papel filtro sobre ele, de modo a representar um fundo falso. A Figura 6 abaixo mostra o corte do molde cilíndrico, bem como suas medidas (em cm).

Figura 6 - Molde cilíndrico, cilindro complementar e disco espaçador



Fonte: DNIT 172 - ME (2016)

- e) É adicionada uma quantidade padrão de solo e compactada a primeira das cinco camadas com soquete grande de Energia Intermediária, transferindo-se 26 golpes por camada.
 - f) Faz-se a escarificação, com espátula, do topo da camada compactada e repete-se a etapa e), completando assim, as cinco camadas do molde.
 - g) Retira-se o anel complementar tendo-se antes o cuidado de destacar, com o auxílio de uma espátula, o material a ele aderente.
 - h) Nivela a superfície com uma régua rígida biselada, na altura exata do molde.
- Imersão do corpo-de-prova:
 - a) Logo após terminadas as moldagens necessárias para caracterizar a curva de compactação é feito o desencaixe do molde principal, o disco espaçador retirado, e, invertido e fixado novamente o molde na base perfurada. A Figura 7 mostra o CP virado e encaixado novamente a sua base.

Figura 7 - Corpo-de-prova encaixado novamente a sua base



Fonte: Autor (2016)

- b) No espaço deixado pelo disco espaçador deve ser colocada uma haste de expansão, bem como, ser empregada uma sobrecarga-padrão de 10lbs sobre o corpo de prova que corresponde a 2,5 polegadas de espessura de pavimento sobre o material. Adapta-se, ainda, na haste de expansão, um extensômetro fixo ao tripé porta-extensômetro, colocado na borda superior do cilindro, destinado a medir as expansões ocorridas, que devem ser anotadas de 24 em 24 horas, em porcentagens da altura inicial do corpo de prova. A Figura 8 exibe o corpo-de-prova com a sobrecarga acima da haste, e o extensômetro fixo ao tripé.

Figura 8 - Extensômetro fixo ao tripé para anotação da expansão



Fonte: Autor (2016)

- c) Imerge-se o cilindro em um depósito cheio d'água, durante 4 dias, fazendo-se a leitura do extensômetro a cada 24h.

O cálculo da expansão e da água absorvida durante a submersão para cada corpo de prova é obtido através da Equação 08 abaixo, redigida na NORMA DNIT 172/2016 - ME:

$$\text{Expansão (\%)} = \frac{\text{leitura final} - \text{leitura inicial no extensometro}}{\text{altura inicial do corpo de prova}} \times 100 \quad (08)$$

- Penetração do corpo-de-prova:
 - a) Para dar início ao ensaio de penetração propriamente dito, cada molde com o corpo de prova deve ser retirado da imersão e deixado para escoar a água durante 15 minutos.
 - b) No topo de cada corpo de prova é colocado as mesmas sobrecargas utilizadas no ensaio de expansão, correspondentes a 10lbs.
 - c) Este conjunto é levado ao prato da prensa e posicionado o pistão no centro do corpo de prova, zera-se o extensômetro do anel dinamométrico e aplica-se uma carga axial de 45N. Zeram-se, a seguir, o extensômetro do anel dinamométrico e o que mede a penetração do pistão no solo.
 - d) Inicia-se o ensaio de penetração acionando a manivela da prensa, a uma velocidade de 1,27mm/min (0,5 pol/min).
 - e) As leituras registradas, são consideradas em função de uma penetração do pistão no solo e de um tempo especificado para o ensaio, conforme mostra a Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Leitura obtidas no extensômetro do anel

Tempo (min)	Penetração		Leitura no extensômetro do anel (mm)
	pol	mm	
0,5	0,025	0,63	-
1,0	0,050	1,27	-
1,5	0,075	1,90	-
2,0	0,100	2,54	-
3,0	0,150	3,81	-
4,0	0,200	5,08	-
6,0	0,300	7,62	-
8,0	0,400	10,16	-
10,0	0,500	12,70	-

Fonte: DNIT 172 - ME (2016)

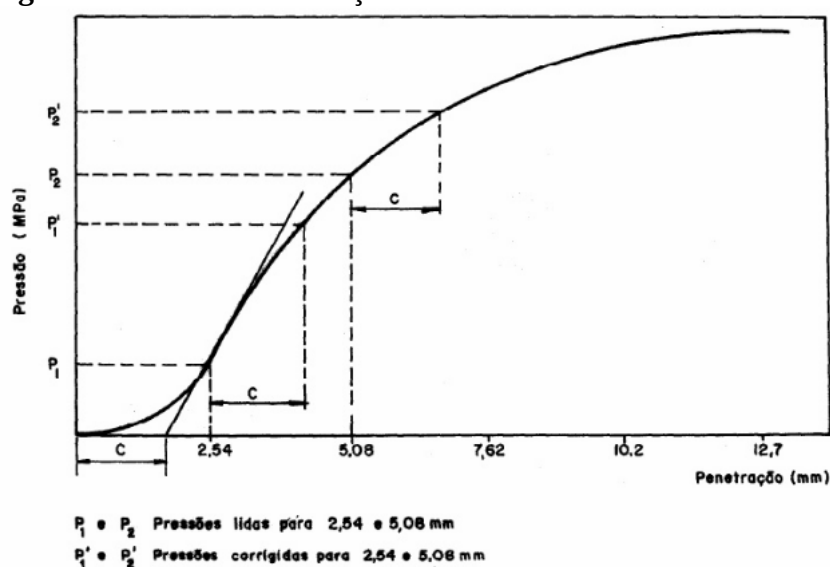
- g) A partir das leituras deve-se traçar a curva pressão aplicada pelo pistão x penetração do pistão, na qual se definem os valores de pressão correspondentes a 2,54mm ($P_{0,1''}$) e 5,08mm ($P_{0,2''}$).

Estas curvas de pressão-penetração devem possuir um primeiro trecho praticamente retilíneo, característico de fase elástica, seguido de um trecho curvo, característico de fase plástica. Inflexão no início da curva tem significado de problemas técnicos de ensaio e essas curvas devem ser corrigidas (BERNUCCI, 2006).

A correção da curva pressão-penetração consiste em ajustar o ponto zero da curva a fim de corrigir os efeitos provenientes da irregularidade da superfície do corpo-de-prova (NORMA DNIT 172/2016 - ME).

Caso a curva apresente um ponto de inflexão, traça-se uma tangente à curva neste ponto até que a mesma intercepte o eixo das abscissas. 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. Soma-se às abscissas dos pontos correspondentes às penetrações de 2,54mm e 5,08mm à distância “c”, com o que se determina, na curva obtida, os valores correspondentes das novas ordenadas, as quais representam os valores das pressões corrigidas para as penetrações antes referidas. A Figura 9 mostra como pode ser obtida a correção da curva (NORMA DNIT 172/2016 - ME).

Figura 9 - Gráfico de Correção



Fonte: DNIT 172 - ME (2016)

O ISC é calculado para as penetrações de 2,54mm e 5,08mm, verificadas ou corrigidas, seguindo as Equações 09 e 10:

$$ISC_{0,1''} = (P_{0,1''} / 70) \times 100 \quad (09)$$

$$ISC_{0,2''} = (P_{0,2''} / 105) \times 100 \quad (10)$$

Onde:

$P_{0,1''}$ = pressão correspondente à penetração de 2,54mm em kgf/cm²

$P_{0,2''}$ = pressão correspondente à penetração de 5,08mm em kgf/cm²

Nas equações 09 e 10, os valores 70 e 105 correspondem, respectivamente, aos valores de pressão padrão do material de referência à penetração de 0,1" e 0,2". O ISC é o maior valor entre os dois calculados $ISC_{0,1''}$ e $ISC_{0,2''}$ (BERNUCCI, 2008).

CAPÍTULO 3

3.1. METODOLOGIA

3.1.1. Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de um estudo de melhoramento do solo, com adição de cimento, analisando amostras de solo coletados do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, da cidade de Cascavel, região Oeste do Estado do Paraná.

A metodologia utilizada neste trabalho foi do tipo quantitativa e qualitativa, pois levaram como base de seu delineamento as questões ou problemas específicos (BRAGA, 2004). Quantitativa, pois os resultados são dados reais coletados a partir de ensaios em laboratório, e apresentados através de planilhas e gráficos que mostraram os valores do Índice de Suporte Califórnia. Qualitativa, pois o estudo relacionou dados obtidos em campo, com embasamento teórico na NBR 9895/1987, entre outras obras bibliográficas.

Em paralelo à realização do ensaio de laboratório foi realizada a revisão bibliográfica do tema, mediante consulta de livros, trabalhos publicados em anais de congressos, artigos publicados em periódicos, etc.

3.1.2. Caracterização da Amostra

Para a execução desse estudo, foi retirada uma quantidade considerável de amostra da superfície, do Campo Experimental de Engenharia (CEEFF) do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, que se localiza na Av. das Torres nº 500, Bairro Santo Inácio, cidade de Cascavel/PR.

A Figura 10 apresenta o lugar de retirada das amostras, onde estão sendo realizadas diversas pesquisas, a fim de caracterizar o solo local. Uma dessas pesquisas foi realizada por Sidney (2016), que determina a Umidade Ótima, o ISC do solo *in natura* e também o ISC com adição de cal neste solo. Desta forma esses dados foram utilizados como parâmetros e

base principal para análise de ganho de resistência do solo com o uso de cimento e posteriormente, comparado qual estabilizante foi mais eficiente nas mesmas dosagens.

Figura 10 - Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz



Fonte: Google maps (2010)

A Figura 11, apresenta a cava onde foram coletadas as amostras, a uma profundidade de aproximadamente 80cm.

Figura 11 - Local onde foram retiradas as amostras de solo



Fonte: Autor (2016)

Este solo, segundo Embrapa (2006 *apud* Sidney 2016), está classificado como um solo laterítico, muito comum de regiões tropicais. Jacomine (2008 *apud* Sidney 2016), explica que

os solos do tipo laterítico são solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de energéticas transformações do material constitutivo.

Conforme Pinto (2006), os solos argilosos são em sua grande maioria provenientes do basalto. Os minerais encontrados nesses solos são muitas vezes umedecidos, e ricos em óxidos de alumínio e de ferro, o que leva o solo geralmente a possuir coloração avermelhada.

A resistência mecânica no estado natural é dada pelo atrito entre flocos de argila, que por sua vez, são formados por várias partículas de argilas unidas entre si através de um agente cimentante.

3.2. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

3.2.1. Extração das amostras deformáveis

O primeiro passo foi a coleta das amostras que seriam utilizadas nos ensaios, todas elas da mesma cava, a qual foi realizada em 31 de agosto de 2016. Para esse estudo utilizou-se amostras deformáveis, podendo assim, o solo ser recolhido com uma pá.

A Figura 12 apresenta a coleta das amostras de solo, armazenadas em sacos plásticos, e guardados em laboratório até a eventual utilização.

Figura 12 - Retirada das amostras de solo



Fonte: Autor (2016)

3.2.2. Cimento

Foi utilizado o Cimento Portland Composto CP II-Z-32 R, indicado para aplicações de solo-cimento, da marca Votorantim, muito comum nas construções civis da região de Cascavel/PR.

É constituído por 14% em massa de material pozolânico, que confere ao cimento maior impermeabilidade, muito importante para menores valores de expansão, prevenindo assim deformações ao serem solicitados.

3.2.3. Dosagens

A NBR 12253/1992 não especifica a proporção de cimento para o solo em estudo. Os solos finos requerem teores elevados de cimento, ou seja, maiores que 10%, tornando-se assim muitas vezes inadequados para fins de estabilização. Dessa forma os ensaios foram realizados utilizando as dosagens de cimento em teores de 3%, 6%, 9% e 12% em relação a proporção do solo, uma vez que, conforme o DNER (1996), o teor de cimento é usualmente adotado na ordem de 6 a 10%.

3.3. ENSAIOS LABORATORIAIS

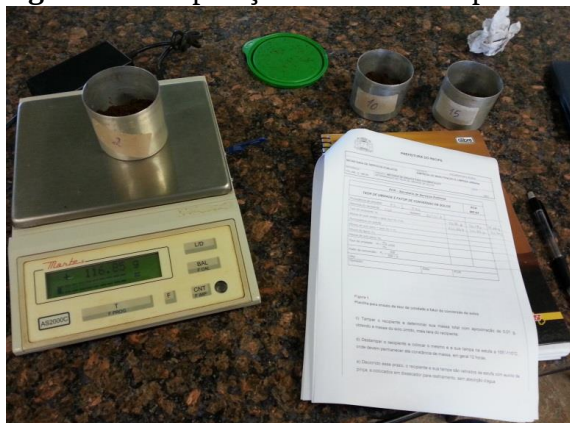
3.3.1. Ensaio de Proctor

O ensaio de Proctor foi realizado por Sidney (2016) para determinação da umidade ótima desse mesmo solo no local onde foram retiradas as amostras para este trabalho. O autor executou o ensaio seguindo os passos do ME-64 – Determinação do Teor de Umidade de Solos (2003).

Primeiramente foi feito o teste de Teor de Umidade das amostras coletadas, anotou-se o peso do recipiente e do solo úmido para cada cápsula. Após 24 horas em estufa a uma

temperatura de 105 a 110°C, repetiu-se a pesagem para obter o peso do solo seco. A Figura 13 mostra os solos separados em cápsulas na balança para o ensaio do teor de umidade.

Figura 13 - Separação das amostras para o ensaio de teor de umidade



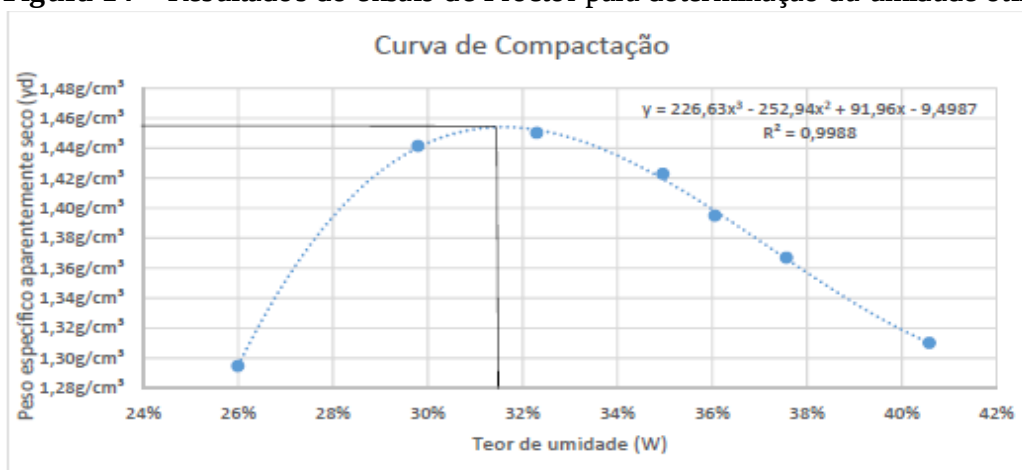
Fonte: Marx (2014)

Com uma parte de aproximadamente 5 kg da amostra total partindo de um teor de umidade próximo a 20% foi iniciado a confecção do CP posicionando o molde cilíndrico já com o papel-filtro em uma base sólida e preenchendo parte do molde com solo para compactação da primeira camada, com Soquete pequeno e Energia de Compactação Normal (26 golpes). Fez-se a escarificação do topo da camada compactada e o preenchimento do molde para a compactação da segunda camada, completando assim as três camadas. Em seguida foi feita a retirada do cilindro complementar e nivelamento da superfície para proceder a extração da amostra e posteriormente pesá-lo. Logo depois desfragmentou o CP em três camadas e retirou uma porção de cada para o ensaio de Teor de Umidade.

Após a confecção, pesagem e retirada de amostra de cada CP, o solo compactado era destorroado e revolvido novamente ao solo da bandeja. Antes da execução dos outros seis CP's, adicionou-se 150 ml de água, de modo a incrementar a umidade do solo em aproximadamente 5%.

Com os resultados de Teor de Umidade e Peso Específico Aparente Seco pôde-se montar o gráfico para encontrar a Umidade Ótima. A Figura 14 abaixo exhibe que a umidade ótima para moldagem dos corpos-de-prova para o ensaio de (ISC) Índice de Suporte Califórnia foi de 31,5% e peso específico aparentemente seco máximo foi de 1,455g/cm³ (SIDNEY, 2016).

Figura 14 – Resultados do ensaio de Proctor para determinação da umidade ótima ($W_{ót}$)



Fonte: Sidney (2016)

Com a Umidade Ótima definida (31,5%), pôde-se iniciar a moldagem do CP para o ensaio ISC.

3.3.2. Ensaio de Índice de Suporte Califórnia -ISC

A extração das amostras deformadas foi realizada no dia 31/08/2016, sendo iniciado o ensaio de ISC no laboratório de Mecânica dos Solos da FAG no período de 10/09 a 14/10/2016.

A princípio, no dia 12/09/2016 realizou-se a preparação da amostra, que consistia em: destorroar o solo com secagem prévia na estufa e passar o material na peneira 19mm e 4,8mm. Mesmo tratando-se de um solo argiloso e de granulometria pequena, a metodologia de acordo com a NBR 6457/1986 foi executada. Como esperado, 100% da amostra coletada passou pela peneira menor.

Logo após foi adicionado a porção de cimento referente ao teor de 3%, e em seguida adicionado água destilada a fim de se obter a massa específica e umidade ótima de 31,5%, fazendo a homogeneização de todo o material. A amostra foi deixada em repouso durante 7 dias para obtenção da cura do cimento e então a realização do ensaio. A Figura 15 mostra o solo com adição de cimento e água.

Figura 15 - Solo com adição de cimento e adição de água na sua umidade ótima (31,5%).



Fonte: Autor (2016)

Posteriormente aos sete dias de cura, o material foi compactado e colocado em submersão para análise do resultado de expansão. O período de imersão durou 96 horas, fazendo-se a leitura dos valores contidos no extensômetro diariamente. A Figura 16 abaixo apresenta o material sendo compactado e os CP's em submersão.

Figura 16 - Compactação do corpo-de-prova



Fonte: Autor (2016)

Terminado o período de imersão, os corpos-de-prova foram retirados do depósito e deixados durante 15 minutos em repouso para que a água absorvida pudesse escoar. Em seguida foram encaminhados para a prensa CBR para realização do ensaio de penetração. A Figura 17 mostra o corpo-de-prova deitado para escoar a água.

O equipamento manteve uma velocidade constante indicada pela Norma de 1,27mm/min durante todas as etapas do ensaio, sempre analisado pelo manômetro anexado ao pistão, o deslocamento do molde. A Figura 18 exibe o CP na prensa para o ensaio penetrométrico.

Figura 17 - corpo-de-prova escorrendo água



Fonte: Autor (2016)

Figura 18 - Ensaio penetrométrico



Fonte: Autor (2016)

Utilizou-se um quadro com as colunas de penetração (mm) e tempo (minutos), conforme a Tabela 08, retirada da norma do DNIT 172/2016 - ME, e a partir destas leituras foi traçada a curva pressão aplicada pelo pistão x penetração do pistão, na qual se definem os valores de pressão correspondentes a 2,54mm e 5,08mm. Calculou-se então os valores de ISC e expansão. A Figura 19 mostra os 3 CP's após a penetração do pistão no solo no ensaio penetrométrico.

Figura 19 - Corpos-de-prova do ensaio de penetração



Fonte: Autor (2016)

O período em laboratório se procedeu desta forma durante as semanas seguintes, onde a cada segunda-feira era feita a preparação da amostra para obtenção da cura do cimento e realização do ensaio na semana seguinte, além de compactadas as amostras preparadas previamente na semana anterior e levadas a submersão para análise dos resultados de expansão. A cada sexta-feira era realizado o ensaio de penetração do corpo-de-prova.

3.4. COLETA DE DADOS

Os dados foram coletados no laboratório de Mecânica dos Solos da instituição de ensino, utilizando amostras deformadas, sendo que para medir as expansões ocorridas, foi realizado diariamente a leitura do extensômetro, do corpo de prova submerso, durante 4 dias seguidos, podendo no final desse tempo ser realizado o cálculo empregado à Equação 08, e posteriormente criado a tabela de expansão para cada corpo-de-prova.

Para o ensaio penetrométrico, foram registradas as leituras no extensômetro do anel por meio da Tabela 4, onde se relaciona o tempo com a penetração de cada corpo-de-prova. Através de uma planilha foram lançados os valores de penetração, resultando os valores de pressão, sendo assim possível gerar a curva de pressão-penetração.

3.5. ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta de dados, foi feito a análise da porcentagem de expansão ocorrida, após os corpos-de-prova ficarem submersos por 96h. Foi também realizado o lançamento dos valores, gerando gráficos relacionando as pressões de penetração com a penetração do pistão, verificando qual foi o ganho de resistência do solo com a adição de cimento comparado com o resultado *in natura*, a fim de melhorar sua capacidade de suporte. Além disso, foi analisada a dosagem de cimento que se obteve a maior capacidade de suporte. Ainda, foi verificado qual é o resultado, em relação a resistência, se comparado a adição de cimento com a adição de cal.

CAPÍTULO 4

4.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais, os dados foram compilados e tabelados para serem analisados. As etapas subsequentes ao ensaio ISC propriamente dito estão aqui descritas em: Ensaio de Compactação, Preparação das Amostras e Índice de Suporte Califórnia.

4.1.1. Ensaio de Compactação Normal - PROCTOR

A umidade ótima de um solo pode ser obtida através do Ensaio de Proctor. Para determinação da umidade ótima deste solo, o ensaio foi realizado por Sidney (2016), no mesmo local onde foram retiradas as amostras para este trabalho. Como o resultado obtido se trata de um valor quantitativo determinado por uma metodologia normativa, não foi necessário realizar o ensaio novamente nesta pesquisa.

Com os sete pares de valores utilizados por Sidney (2016), de peso específico aparente seco (γ_d) e umidade W , determinou-se por ajuste manual os pontos da curva de compactação e dela estimou-se os valores de $\gamma_{d\max}$ e $W_{ót}$, tendo assim, seu ponto de compactação relativo a umidade ótima de 31,5%.

4.1.1.1. Índice de Suporte Califórnia - Solo *in natura*

O ensaio ISC refere-se a um método empírico, adotado por grande parcela de órgãos rodoviários no Brasil e no mundo. O objetivo do ensaio é determinar o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e a Expansão (E).

O ensaio de ISC do solo *in natura* foi realizado por Sidney (2016) para o mesmo solo estudado dessa pesquisa. Visto que o mesmo executou o ensaio seguindo critérios específicos estabelecidos pela NBR 9895/87, não houve a necessidade de ser realizado novamente o ensaio de ISC para o solo *in natura* dessa amostra. Os resultados obtidos pelo autor para análise da expansão das amostras no seu estado natural, estão apresentados na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 - Expansão das amostras do solo em seu estado natural

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

Fonte: Sidney (2016)

Os resultados de expansão segundo o DER/SP (2006) são aceitáveis, pois o limite estabelecido pelos parâmetros para os materiais utilizados nas camadas de sub-base de pavimentos rodoviários não poderá exceder a 1%.

Os resultados obtidos por Sidney (2016), para o ensaio ISC do solo *in natura*, estão apresentados na Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Resultados ISC com solo em seu estado natural

Penetração (mm)	Pressão (N/mm²)			ISC (%)			
	PI1 0%	PI2 0%	PI3 0%	Padrão	PI1 0%	PI2 0%	PI3 0%
2,54	0,95	0,99	0,98	6,9	13,73	14,36	14,20
5,08	1,06	1,11	1,09	10,35	10,20	10,73	10,52

Fonte: Sidney (2016)

Observa-se na Tabela 10 que a porcentagem do valor correspondente de ISC, ficou em torno de 14%. Estes valores foram maiores com a penetração em 2,54mm devido a característica do solo estudado.

Os valores encontrados por Sidney (2016) foram considerados baixos segundo DER/SP (2006), valor este que para a utilização como material do subleito em camadas de sub-base teria que ser $ISC \geq 30\%$, sendo assim há necessidade de incorporar um estabilizante.

4.1.2. Preparação das Amostras

A preparação das amostras foi a etapa que se procedeu em laboratório, com a realização dos ensaios preconizados na NBR 9598/1987- Índice de Suporte Califórnia. O processo consistiu em secar em estufa, destorroar, peneirar, pesar para se obter uma quantidade suficiente de solo para realização dos ensaios.

4.1.3. Índice de Suporte Califórnia

4.1.3.1. Solo-Cimento (3%)

No desenvolvimento do ensaio nesta porcentagem, foram utilizados 360g de cimento para 11,935kg de solo seco, e, 3,759L d'água destilada para obtenção da umidade ótima de 31,5%. A análise da expansão com adição de 3% de cimento está apresentada na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 - Expansão das amostras do solo com adição de 3% de cimento

Expansão (%)			
Amostras:	CP - 1	CP - 2	CP - 3
Leitura (mm):	0,10	0,20	0,90
Expansão (%):	0,09	0,17	0,79

Fonte: Autor (2016)

Houve uma melhora dos resultados da expansão com adição de 3% de cimento se comparado com o solo em seu estado natural, logo, atende as exigências do DNIT ES-142/10 prescrevendo uma expansão $\leq 1\%$ para a sub-base do pavimento. Segundo Bernucci *et al* (2008), a expansão volumétrica na presença de água, também ocasiona numa redução de sua resistência.

A Tabela 12 apresenta os resultados do ensaio ISC, para a adição de 3% de cimento.

Tabela 12 - Resultados ISC com adição de 3% de cimento

Penetração (mm)	Pressão (N/mm ²)			ISC (%)			
	PI1 3%	PI2 3%	PI1 3%	Padrão	PI1 3%	PI2 3%	PI1 3%
2,54	2,13	1,98	2,02	6,9	30,90	28,69	29,32
5,08	2,66	2,94	2,54	10,35	25,74	28,37	24,59

Fonte: Autor (2016)

Com adição de 3% de cimento, é possível observar uma expressiva melhora na resistência do solo se comparado ao seu estado natural, pois se levado em conta o CP1, este precisou de uma pressão de 0,94723 N/mm² para atingir uma penetração de 2,54mm, diferentemente do estudo com adição de 3% de cimento, que necessitou 2,13189 N/mm² para a mesma penetração.

Pode-se ainda perceber que os maiores resultados de ISC obtidos foram na penetração de 2,54mm para os 3 corpos-de-prova, lembrando que o valor utilizado será sempre o maior entre as duas penetrações padrão (1" e 2").

Há um ganho na capacidade de suporte em torno de 105,11% para esta adição de 3%.

4.1.3.1. Solo-Cimento (6%)

Para este ensaio de ISC foi utilizado 600g de cimento à 10,0kg de solo seco e 3,150L d'água para obtenção da umidade ótima de 31,5%. A Tabela 13 abaixo apresenta a expansão das amostras de solo com adição de 6% de cimento.

Tabela 13 - Expansão das amostras do solo com adição de 6% de cimento

Expansão (%)			
Amostras:	CP - 1	CP - 2	CP - 3
Leitura (mm):	1,15	1,20	1,65
Expansão (%):	1,01	1,05	1,44

Fonte: Autor (2016)

A Tabela 13 mostra que os valores de expansão foram maiores do que o máximo admissível que é em torno de 1% para material utilizado na camada de sub-base de pavimentação segundo o DNIT ES-142/10. Como a expansão é empregada como fator limitante, independente do valor de ISC, não é recomendada a utilização desse teor de cimento para a construção de base e sub-base de pavimentos.

A Tabela 14 abaixo exibe os resultados de ISC para esta porcentagem.

Tabela 14 - Resultados ISC com adição de 6% de cimento

Penetração (mm)	Pressão (N/mm²)			ISC (%)			
	PI1 6%	PI2 6%	PI1 6%	Padrão	PI1 6%	PI2 6%	PI1 6%
2,54	0,87	1,18	1,40	6,9	12,63	17,11	20,34
5,08	1,10	1,53	1,86	10,35	10,62	14,82	17,97

Fonte: Autor (2016)

Esta amostra não atende aos parâmetros de aceitação descritos pela DNIT ES-142/10 para utilização dos materiais como sub-base de pavimentação, pois o mesmo prescreve uma capacidade de suporte maior ou igual 30%.

A adição de 6% de cimento, teve uma queda de 33,64% na capacidade de suporte se comparado com a adição de 3%, porém se comparado com o solo em seu estado natural, houve uma melhoria de 58,79%.

Devido ao caráter incomum dos resultados, recomenda-se fazer a análise com adição de 6% de cimento novamente, abstendo-se para esse trabalho os resultados encontrados.

4.1.3.2. Solo-Cimento (9%)

No ensaio de ISC para 9% de adição de cimento, foi utilizado 900g de cimento à 10,0kg de solo seco e 3,150L d'água para obtenção da umidade ótima de 31,5%. A Tabela 15 abaixo apresenta a expansão das amostras de solo com adição de 9% de cimento.

Tabela 15 - Expansão das amostras do solo com adição de 9% de cimento

Expansão (%)			
Amostras:	CP - 1	CP - 2	CP - 3
Leitura (mm):	0,10	0,15	0,10
Expansão (%):	0,09	0,13	0,09

Fonte: Autor (2016)

Pode-se observar que os resultados de expansão foram irrisórios, logo, pode-se utilizar como material para base e sub-base de pavimentação de acordo com o DNIT ES-142/10.

A Tabela 16 a seguir exibe os resultados de ISC para esta porcentagem.

Tabela 16 - Resultados ISC com adição de 9% de cimento

Penetração (mm)	Pressão (N/mm²)			ISC (%)			
	PI1 9%	PI2 9%	PI1 9%	Padrão	PI1 9%	PI2 9%	PI1 9%
2,54	1,79	2,22	2,24	6,9	26,01	32,16	32,47
5,08	1,89	2,86	2,97	10,35	18,29	27,63	28,68

Fonte: Autor (2016)

A Tabela 16 apresenta os valores de ISC que representam um ganho na capacidade de suporte se comparado ao solo em seu estado natural de 107,13%.

4.1.3.3. Solo-Cimento (12%)

Para ensaio de ISC com adição de 12% de cimento no solo, foi utilizado 1.020g de cimento à 8,5kg de solo seco e 2,678L d'água para obtenção da umidade ótima de 31,5%. A Tabela 17 abaixo apresenta a expansão das amostras de solo com adição de 12% de cimento.

Tabela 17 - Expansão das amostras do solo com adição de 12% de cimento

Expansão (%)			
Amostras:	CP - 1	CP - 2	CP - 3
Leitura (mm):	0,15	0,30	0,38
Expansão (%):	0,13	0,26	0,33

Fonte: Autor (2016)

Pode-se observar que os resultados de expansão foram abaixo do máximo recomendado por norma para utilização como material de base e sub-base de pavimentação de acordo com o DNIT ES-142/10.

A Tabela 18 abaixo exhibe os resultados de ISC para esta porcentagem.

Tabela 18 - Resultados ISC com adição de 12% de cimento

Penetração (mm)	Pressão (N/mm²)			ISC (%)			
	PI1 12%	PI2 12%	PI1 12%	Padrão	PI1 12%	PI2 12%	PI1 12%
2,54	2,94	1,58	1,70	6,9	42,55	22,86	24,60
5,08	3,26	1,61	0,99	10,35	31,52	15,56	9,57

Fonte: Autor (2016)

Pode-se observar na Tabela 18 que houve uma grande instabilidade desses corpos-de-prova. Segundo Almeida (2008), essas grandes variações se dão pelo fato da rigidez da mistura cimentada ser muito elevada. A provável ocorrência de trincas, devido ao alto teor de cimento, demonstra a perda da capacidade de suporte da camada cimentada e as cargas

solicitantes, que deveriam ser absorvidas pelo solo estabilizado, são transferidas para outra camada de solo havendo deformações plásticas.

4.1.3.4. Comparação entre os teores de cimento

Analisando-se a Tabela 19 a seguir, é possível verificar os resultados obtidos de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão (EXP) de uma maneira geral. As amostras de 3% e 9% apresentaram resultados semelhantes de ISC sendo que a de 9% apresenta resultados menores de expansão, o que segundo Bernucci *et al* (2006), significa haver uma menor deformação quando for solicitado. É desejável a utilização em pavimentos de um material que não perca consideravelmente sua resistência quando entra em contato com a água, o que neste caso se adequaria melhor para utilização deste para com base e sub-base de pavimentos.

A amostra com 6% de teor de cimento foi retirada das análises de resultados devido ao aspecto incomum apresentado. A amostra de 12% apresenta grande instabilidade de um corpo-de-prova para o outro, necessitando inclusive, haver o descarte do CP3 para efeito de cálculo.

Tabela 19 - Resultados Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão (EXP)

Amostras	Amostra 1 (CP1)		Amostra 2 (CP2)		Amostra 3 (CP3)	
	ISC (%)	EXP (%)	ISC (%)	EXP (%)	ISC (%)	EXP (%)
In natura	13,36	0,18	14,36	0,17	14,20	0,20
3%	30,90	0,09	28,69	0,17	29,32	0,79
6%	12,30	1,01	17,11	1,05	20,34	1,44
9%	26,01	0,09	32,16	0,13	32,47	0,09
12%	42,55	0,13	22,86	0,26	24,60	0,33

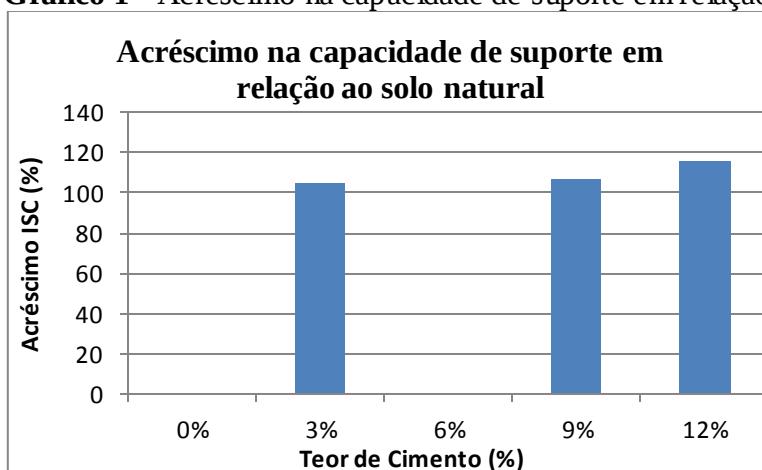
Fonte: Autor (2016)

A adição de 6% de cimento obteve nos três corpos-de-prova resultados incompatíveis com o esperado, sendo os valores de ISC menores que 3% e 9%, além de apresentarem uma

expansão diferenciada. Sendo assim, os valores encontrados neste trabalho para adição de 6% de cimento foram descartados.

O acréscimo da capacidade de suporte que o solo com adição de cimento exibiu, referentes ao solo em seu estado natural, está apresentado através da porcentagem no Gráfico 1 abaixo.

Gráfico 1 - Acréscimo na capacidade de suporte em relação ao solo natural



Fonte: Autor (2016)

Devido ao fato do CP3 para o teor de 12% de cimento ter seu resultado descartado devido a perda de sua capacidade de suporte a penetração de 3,81mm seu valor de acréscimo deu maior por ter levado em conta somente 2 CP's. Porém este valor não é utilizado, pois um alto teor de cimento que apresente certa instabilidade poderá vir a ocorrer a existência de trincas transversais de retração na camada cimentada, logo após a construção. O aparecimento de trincas, demonstram a perda da capacidade de suporte da camada cimentada e as cargas solicitantes, que deveriam ser absorvidas pelo solo estabilizado, são transferidas para outra camada de solo havendo deformações plásticas (ALMEIDA, 2008).

Segundo Bernucci *et al* (2008), a faixa viável de cimento é de aproximadamente 5 a 9% em relação a massa total. Sendo assim, os resultados apresentados se mostram verdadeiros, dentro do teor ideal, uma vez que a maior capacidade de suporte foi com 9% de cimento.

4.1.3.5. Comparação Solo-Cimento x Solo-Cal

Se para efeito de cálculo, compararmos o ganho de resistência dos diferentes estabilizantes em cada dosagem, veremos uma vantagem de cimento em relação a cal, conforme a Tabela 20 a seguir.

Tabela 20 - Comparação ISC (%) solo-cal x solo-cimento

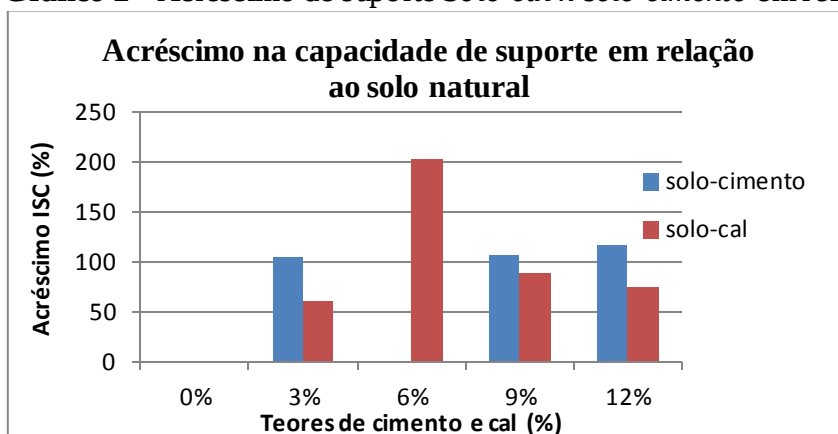
Teores	Média ISC (%) cal	Média ISC (%) cimento
3%	16,92	29,64
6%	57,49	16,58
9%	25,16	30,21
12%	20,88	32,70

Fonte: Sidney (2016), Autor (2016)

De uma maneira geral, o solo estabilizado quimicamente com cimento apresentou um maior ganho de suporte quanto ao solo com adição de cal. Porém, o maior valor de cal, obtido com adição de 6%, representa quase 2x mais que o maior resultado obtido com a utilização de cimento.

O Gráfico 2 mostra o acréscimo da capacidade de suporte quanto ao estado natural. Nota-se, como Malanconi (2013 *apud* Sidney 2016) presumiu, que o teor ideal de cal é em torno de 6%, a partir desse teor a capacidade de suporte começa a decrescer. Bernucci *et al* (2006) comenta que, o teor ideal de cimento gira em torno de 5 a 9%, sendo demasiadamente oneroso, além de apresentar muita retração acima desse teor. Conclui-se que os resultados apresentados, são de fato, os esperados para aplicação.

Gráfico 2 - Acréscimo de suporte *Solo-cal* x *solo-cimento* em relação ao solo *in natura*



Fonte: Autor (2016)

Haja visto uma grande capacidade de suporte com adição de 6% de cal, além de apresentar um resultado nulo quanto a expansão, que representa a não perda de sua resistência quando em contato com a água, se torna tecnicamente viável a utilização de cal nessa dosagem ao invés do uso de cimento para utilização como material de subleito para a sub-base de pavimentação.

CAPÍTULO 5

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da adição de cimento, em várias dosagens, na capacidade de suporte pelo método ISC do solo laterítico e colapsível, característico da região de Cascavel/PR.

Após ser realizado o ensaio em laboratório, pode-se afirmar pelos resultados obtidos, que o cimento influenciou positivamente na Capacidade de Suporte do solo analisado, aumentando os valores de ISC.

Todos os teores apresentaram aumento na sua capacidade de suporte com relação ao estado natural, porém, dentre todas as dosagens ensaiadas, somente o teor de 9% é utilizável como material de subleito para a sub-base de pavimentação, pois sua capacidade de suporte é de 30,21% onde a norma do DNIT ES-142/10 prescreve um mínimo de 30%.

A amostra com teor de 6% de cimento necessitou ser excluída dos resultados devido ao caráter incomum apresentado, pois seus valores de ISC foram menores que as dosagens de 3% e 9% de adição de cimento, o que implica em algum erro de execução do ensaio.

Cada tipo de solo reage melhor com um determinado teor de cimento do que outro, então, para saber qual a dosagem ótima de cimento para cada tipo de solo, deve-se fazer um novo estudo com diferentes dosagens e analisar em qual teor se obtém os melhores índices.

Os resultados obtidos neste ensaio possibilitam aos projetistas da região da cidade de Cascavel - PR obterem uma referência para utilização de solo estabilizado quimicamente com cimento, como material de sub-base de pavimentação, pois uma permanente busca por melhorias na eficiência e desempenho de pavimentos está relacionada com a procura de materiais não naturais, de baixo custo, e que apresentem características apropriadas à sua utilização.

Ao final desse trabalho, é possível afirmar que o cimento poderá ser utilizado como material para incremento da capacidade de suporte do solo objeto desta pesquisa, conseguindo diminuir a espessura da camada do subleito, acabando com os problemas de dimensionamento na construção de novas estradas. Todavia, as fissuras que podem surgir em decorrência da retração do cimento, são um fator que necessita de estudos mais profundos visando o aprimoramento dessas técnicas de reforço.

Entretanto, a dosagem de 6% de cal apresentou valores maiores de ISC do que os teores de cimento, tornando-se técnica e economicamente mais viável a utilização de cal ao invés de cimento com teor de 9%, devido ao grande aumento na capacidade de suporte e o custo da cal hidrata ser inferior ao cimento.

CAPÍTULO 6

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final desta monografia, estão abertas novas sugestões para trabalhos futuros, se tratando de estudo para capacidade de suporte, algumas delas seguem a seguir:

- Utilizar dosagens intermediárias de cimento (4%, 5%, 6%, 7% e 8%) para o mesmo solo;
- Realizar o ensaio de adição de cimento nessas mesmas dosagens para um solo de outro local;
- Utilizar energias de compactação diferentes;
- Realizar esta pesquisa utilizando Cimento de alta resistência inicial CP V- ARI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADADA, Lucas Bach. **Tópicos de Projeto de Pavimentos Asfálticos e de Cimento Portland**. Programa de Integração e Capacitação, DER/PR, 2008.

ALBUQUERQUE, P. J. R. de; MIGUEL, M. G.; SAUEIA, F. N.; HAJNAL, V. H. J.; CARVALHO, D. de. **Avaliação de um Solo Laterítico Culoionar de Campinas/SP, por Diferentes Procedimentos de Determinação de Índices Físicos**. XVIII Congresso Argentino de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. San Juan, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9895. **Solo - Índice de Suporte Califórnia - Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1992. Acesso em 04 de abr. 2016.

_____, NBR 12023. **Solo-cimento - Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2012.

_____, NBR 7182. **Solo - Ensaio de Compactação - Método de Ensaio**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1986. Acesso em 04 de abr. 2016.

_____, NBR 12253. **Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1992. Acesso em 04 de abr. 2016.

_____, NBR 11578. **Cimento Portland Composto**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1991.

_____, NBR 6502. **Rochas e solos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1995.

_____, NBR 6457. **Amostras de solo - Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1986.

ALMEIDA, Wilson Barbosa de. **Emprego da mistura solo-cimento em bases e sub-bases de pavimentos**. Trabalho de conclusão de curso da Universidade São Francisco. 2008. Disponível em: < <http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1195.pdf> >. Acesso em: 30 mar. 2016.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O Edifício até sua Cobertura**. 2ª ed. 1998. São Paulo.

BEJA, I. A.; LUCENA, A. E. de F. L. **Utilização de Material Fresado em Camadas de Sub-Base e Base de Pavimentos Rodoviários**. VIII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande. PIBIC/ CNPq/ UFCG, 2011.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA L. M. G. de; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B., **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2006.

BLANCO, V. Z. **Breve historia de las Carreteras**. Revista de Obras Públicas, 1987.

BRAGA, Denise Bértoli. **A Comunicação Interativa em Ambiente Hipermidia: as vantagens da hipermodalidade para o aprendizado no meio digital**. Editora Lucerna. Rio de Janeiro, 2004.

CARDOSO, D. L.; MEDEIROS, **Propriedade Geotécnicas do solo da região de Cascavel/PR**. Anais do I ENGEOPAR - Encontro Geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense, Maringá, 2003.

CERRI & AMARAL. **Geologia De Engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, 1998.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; SANTOS, H. G. dos; BREFIN, M. de L. M. S.; PEREZ, D. V. **Solos: Tipos, suas Funções no Ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

DAMIN, Eduardo. **Aplicação do Modelo Cam-Clay Modificado ao Solo de Cascavel/PR**. Trabalho de conclusão de curso da Faculdade Assis Gurgacz, 2012.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br/>>. Acesso em 14 mai. 2016.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 2º Ed**. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006.

_____. **Manual de Métodos de Análise de Solo. 2º Ed**. Rio de Janeiro, 1997.

GEOTECNIA E FUNDAÇÕES. **Índice de Suporte Califórnia - CBR**. Disponível em: <<http://geotecniaefundacoes.blogspot.com.br/2010/06/indice-de-suporte-california-cbr.html>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

GREGÓRIO, Jaqueline. **Estabilização de um Solo da Formação Palermo com Aditivo PZ Solution®**. Trabalho de conclusão de curso da Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, 2010.

GUÉRIOS, Eduan Maganhotto. **Estudo do Melhoramento de Solo com Adição de Cal Hidrata para uso em Pavimento Urbano**. Trabalho de conclusão de curso da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

GUTIERREZ, N. H. M.; NÓBREGA, M. T. de; VILAR, O. M. **Colapsibilidade de solos tropicais típicos no norte e noroeste do Paraná**. 2003. Maringá – PR.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de; MELO, V. de F.; **Conhecendo os Principais Solos do Paraná: Abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Núcleo Estadual do Paraná - Universidade Federal do Paraná: Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola/UFPR. Curitiba, 2012.

MACEDO, Mirtes Maria de. **Solos modificados com cimento - efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos**. Tese de pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco. 2004. Disponível em: <

http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/5694/arquivo6354_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y >. Acesso em: 30 mar. 2016.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de Aula - Pavimentação**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia - Departamento de Transportes e Geotecnia, Juiz de Fora, 2012.

MARTÍNEZ, Gioconda Santos e Souza. **Estudo do Comportamento Mecânico de Solos Lateríticos da Formação Barreiras**. Tese de doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

MARTINS, A.; MERCADÉ, S. R.; AOKI, J.; MADI, F.; MARCONDES, C. G.; NEVES, I. F.; **Apostila de Fabricação de Cimento**. Timão. Curitiba, 2010.

MARX, Rafael. **Comparação do Resultado dos ensaios cone de Penetração Dinâmica (CPD) e Cone de Penetração Estática (CPE) com California Bearing Ratio (CBR) para Dimensionamento de Pavimentos**. Trabalho de conclusão de curso da Faculdade Assis Gurgacz, 2014.

MASSAD, Façal. **Obras de terra - Curso básico de Geotecnia**. Editora Oficina de Textos, 2003.

MENDES, R. M. **Estudo das propriedades geotécnicas de solos residuais não saturados de Ubatuba (SP)**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo - SP, 2008.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Dados do sistema nacional viário**. Disponível em <<http://www.transportes.gov.br/>>. Acesso em 14 mai. 2016.

MONTE, Manuel Alexandre Valentim do. **Aplicação de solo-cimento em pavimentos flexíveis**. Dissertação de Mestre em Engenharia Civil da Universidade do Porto. 2012. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68251/1/000154750.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

MOURA, Edson de. **Notas de Aula - Projeto de Pavimento: Classificação de Pavimentos e Identificação das Camadas de Pavimento**. Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC, São Paulo, 2011.

NORMA DNIT 142/2010 - ES, **Pavimentação – Base de solo melhorado com cimento - Especificação de serviço**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro, 2010.

NORMA DNIT 172/2016 - ME, **Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, 2016.

ORTEGA, Y. M. **Elementos e Órgãos de Drenagem nas Estradas em Calçetas - Estudo de caso: Trabalhos de Reabilitação e Execução na Estrada de Ribeira Brava/Juncalinho, Ilha de São Nicolau**. Memória de Licenciatura em Engenharia de Construção Civil da Universidade Jean Piaget de Cabo Verde. Cidade da Praia, Cabo Verde, 2014.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Solos em 16 aulas**. 3ª edição. São Paulo, 2006.

_____. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 2ª edição. São Paulo, 1998.

SAMPA HISTÓRICA. **Caminho do Mar**. Disponível em: <<https://sambahistorica.wordpress.com/2014/10/27/caminho-do-mar/>>. Acesso em: 25 mai. 2016.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação. Volume I**. São Paulo: Pini, 1997.

_____. **Manual de Técnicas de Pavimentação. Volume II**. São Paulo: Pini, 2001.

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.

SILVA, V. da; FAGUNDES, M. C. V.; LIMA, M. R. de; LIMA, V. C.; TAVARES, A. K. **Conhecendo os Principais Solos do Paraná: Abordagem para professores do ensino fundamental e médio**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Núcleo Estadual do Paraná - Universidade Federal do Paraná: Projeto de Extensão Universitária Solo na Escola/UFPR. Matinhos, 2013.

TISCOSKI, Douglas **Análise da Resistência à Compressão Simples da Mistura Solo-Cimento e Perma-Zyme® para fins Rodoviários**. Trabalho de conclusão de curso da Universidade do Extremo Sul Catarinense - Inesc, Criciúma, 2009.

VAZ, Luiz Ferreira. **Classificação Genética dos Solos e dos Horizontes de Alteração de Rocha em Regiões Tropicais**. São Paulo, 1996.

_____. **Origem e Tipos de Solos**. Instituto de Geociências/ Unicamp. Campinas, 2003

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S. **Pavimentos Econômicos: Tecnologia do uso dos Solos Finos Lateríticos**. São Paulo: Arte & Ciência, 2009.

ZORZI, Clayton. **Caracterização dos solos tropicais lateríticos para reforço de pavimentos**. São Paulo. 2008. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1194.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2016.