

ADIÇÃO DE CIMENTO AO SOLO DA REGIÃO DE CHAPECÓ – SC PARA ESTABILIZAÇÃO DO SUBLEITO NA PAVIMENTAÇÃO

Marcio José da Silva¹
Ezequiel Furini Puton²
Fernando Lothario Becker; Denise Ortigosa Stolf³

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a adição de cimento ao solo para a compactação do subleito. A metodologia utilizada nesta pesquisa quanto ao método classifica-se como método indutivo, em relação ao nível classifica-se como método exploratório, os principais resultados encontrados com este estudo foram positivos, pois a compactação de solo com cimento mostrou-se eficaz perante ao solo natural. A amostra de solo foi retirada no Bairro Esplanada Vila Roma em Chapecó. Os testes foram realizados no laboratório de Mecânica do solo da Instituição com a utilização do equipamento de testes de Proctor e com amostras de solo natural sem e com adição de cimento para encontrar o teor de umidade ótima e a massa específica aparente. Através das análises foi constatado que a adição de cimento auxiliou para alcançar a umidade ótima e a massa específica aparente mais rapidamente, mas analisando o custo-benefício depara-se que se torna inviável a utilização do método na região de Chapecó, o ganho de vantagem executiva e em qualidade de compactação é inferior ao aumento da despesa com o cimento.

Palavras-chave: Compactação. Solo-cimento. Subleito.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia das vias terrestres é uma das atividades mais antigas conhecidas pelo homem. Ela surgiu da necessidade de melhorar os caminhos facilitando o trânsito terrestre dos veículos de tração animal, possibilitando a comercialização dos produtos agrícolas e a locomoção populacional. Conforme a modernização dos meios de transporte, os trajetos necessitaram de melhorias, com isso a engenharia rodoviária se aperfeiçoou, devido ao intemperismo buscaram-se maneiras de impermeabilizar as vias.

Conforme Senço (2007), a busca de melhores materiais para revestimentos das estradas levou a utilização de pedras, misturas betuminosas ou de concreto de cimento, devido a necessidade de deslocamento nas diversas épocas do ano, obrigando estabilização do leito das

¹ Artigo desenvolvido com base nos dados do TCC do curso Engenharia Civil, (UCEFF, 2017)

² Graduado em Engenharia Civil, (UNOCHAPECÓ, 2004); Especialização: Georreferenciamento de imóveis rurais, UNOCHAPECÓ, 2009).

³ Docentes do curso de Engenharia Civil da UCEFF. E-mail: denise_stolf@yahoo.com.br.

vias. A estrutura se difere em espessura, em materiais utilizados, de acordo a função que exerce ou irá exercer.

A pavimentação é uma obra civil que visa melhoria operacional, construída sobre a terraplanagem, com múltiplas camadas de espessuras finitas, com uma superfície mais aderente, com resistência aos esforços verticais oriundos do tráfego distribuindo-os, dando condição para melhorar a qualidade de rolamento quanto a conforto, economia e segurança. (BALBO, 2007; BERNUCCI *et al.*, 2006; SENÇO, 2007).

Necessitam assim, de avaliações estruturais que em conjunto com a avaliação dos defeitos superficiais complementando a avaliação de defeitos por processos visuais que auxiliam ao engenheiro definir os padrões e causas de patologias existentes nos pavimentos, possibilitando sua reparação e emitindo conclusões sobre a integridade de camadas de materiais subjacentes ao revestimento, como em alguns casos de intensas deformações plásticas, rupturas e contaminação em camadas granulares. Permitindo que as subdivisões de um trecho de rodovia em estudo em segmentos homogêneos apresentem características pouco variáveis, para fins de projeto (BALBO, 2007). A pavimentação das vias é formada por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise geomorfológica do solo e das rochas é muito importante para auxiliar na interpretação do relevo definindo assim os tipos de formações e estruturas geológicas, sendo possível através de fotografias aéreas com estereoscópio permitindo uma visão do relevo da área em observação, traçando um mapa geológico com os dados obtidos com a descrição das formações e dados de sondagem, temos assim uma noção global das áreas de interesse das subsuperfícies ao mais baixo custo. Os métodos de investigação podem ser divididos entre direto no qual o pesquisador entra em contato com o material avaliado com a retirada de amostras; e o indireto fornece os valores se interpretados devidamente permite detectar a posição e a algumas propriedades das rochas. (MACIEL FILHO e NUMMER, 2014).

Conforme ABNT/NBR 6484 (2001) a sondagem deve ser realizada com a utilização de uma cavadeira manual não ultrapassando a profundidade de um metro, e após são realizadas operações de perfuração subsequentes intercalando o ensaio e a sondagem até que seja atingido o nível do lençol freático. Porém, quando empregado o trado helicoidal e a perfuração for

inferior a 50 mm após um período de dez minutos ou mesmo se o solo não for aderente ao trado deve-se utilizar a perfuração por circulação de água, denominado de lavagem.

A galeria é uma escavação horizontal tendo as mesmas descrições da sondagem anterior, porém são mais indicadas em rochas ou solos muito duros; as sondagens a percussão é uma investigação de solo com a perfuração por peça de aço cortante e lavagem com água, sendo utilizada para obter amostras de solo com índices de resistência a penetração, atingindo até metros de profundidade; e a sondagem rotativa obtém as amostras de materiais rochosos através de um conjunto motomecanizado com ação perfurante por penetração e rotação. (MACIEL FILHO e NUMMER, 2014).

O processo de pavimentação inicia após os resultados das análises das estruturas do solo, e as definições do processo executivo a ser realizado variam conforme os resultados das amostras. Primeiramente com a conformação do leito estradal.

Segundo DER/SP (2005), a granulometria das partículas utilizadas no subleito deve obedecer a ABNT/NBR 7181 (1968) com diâmetro máximo de 76 milímetros e a compactação poderá ser normal ou a intermediária dependendo do tipo de material e do especificado no projeto.

E ainda DER/SP (2005), define que o teor de umidade é um fator de grande importância, se estiver abaixo deve irrigar a camada através de caminhão tanque irrigador, porém se estiver alto deve-se aerar o material com uma ação conjunta da grade de discos e da motoniveladora, para que a umidade atenda aos requisitos especificados. Em dias chuvosos, não é permitida a execução dos serviços.

Conforme Senço (2008), a umidade elevada é uma das principais causas de patologias no pavimento, pelo excesso de água no subleito são gerados vários problemas ocasionando deterioração precoce. Os pavimentos projetados corretamente apresentam desgastes com o passar do tempo, como pequenas trincas que abrem passagem para a entrada de água criando alguns problemas.

Segundo Das (2011), outros fatores devem ser levados em consideração no preparo do solo antes da compactação, como o alcance do peso específico, a espessura da camada, a intensidade da pressão exercida pelos equipamentos e em qual área será aplicada, pois a pressão aplicada na superfície diminui em função de profundidade resultando em um decréscimo no grau de compactação do solo.

Resultando no aumento da massa específica de um solo pela energia despendida com a aplicação de pressão, impacto ou vibração proporcionando as partículas terem um contato mais íntimo pela expulsão de ar e a redução da tendência de teor da umidade dos materiais utilizados no pavimento. (BRASIL, 2006; CAPUTO, 1988).

Segundo Pinto (2006), a compactação é utilizada em diversas obras de engenharia, o processo a ser empregado deve seguir a umidade em que o solo deve encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida, reduzindo os espaços vazios entre os materiais, aumentando a rigidez e a resistência.

Quando o material para a preparação do solo com em um aterro é transportado e depositado em um local, apresenta-se heterogêneo e fofo, necessitando de um tratamento específico para perder suas características anteriores, para poder se adequar ao local que será utilizado.

Os solos soltos devem ser compactados para aumentarem seus pesos, aumentando a resistência do solo, ocasionando assim uma maior resistência das fundações construídas sobre a superfície, reduzindo o recalque indesejado das estruturas e produzindo também maior estabilidade das fundações das pavimentações. São utilizados equipamentos específicos para a compactação do solo como os rolos compactadores lisos, pé de carneiro, de pneus de borracha e vibratórios. E empregamos as placas vibratórias manuais na compactação de solos granulares em uma área limitada. Os solos granulares são preparados com rolos compactadores vibratórios. A compactação tem como objetivo remover o ar do solo, através de energia mecânica (DAS, 2011).

Durante o processo de compactação do solo as quantidades de água e de material são constantes, o aumento da massa específica nos remete a eliminação de espaço de ar no material utilizado e com a umidade ótima.

Segundo Brasil (2006), a compactação era uma prática utilizada, porém só na década de 1930 se estabeleceu estudos por R.R. Proctor e O. J. Porter que são utilizados como princípios na pavimentação até a atualidade. O estudo nos relata que uma massa de solo úmido possui um volume inicial em um dado cilindro e se aplicarmos certo número de golpes através da queda de altura H , com um soquete de peso P teremos a energia de compactação ou esforço de compactação do trabalho a ser executado com certo volume V do solo.

A compactação de um solo é um processo que aumenta a densidade da massa específica agrupando adensando as partículas com a redução do volume de ar, quanto maior o grau de

compactação maior a resistência ao cisalhamento e menor a compressibilidade do solo. (CRAIG e KNAPPETT, 2015).

Conforme Pinto (2006), com os estudos de Proctor foram definidos o Ensaio de Compactação utilizado em todo o mundo com algumas particularidades de cada local, tendo assim pequenas variações sendo mais conhecido com Ensaio de Proctor. E também que Porter em 1929 criou o ensaio da CBR (Califórnia Bearing Ratio), ele é muito utilizado em pavimentação que utiliza um ensaio muito semelhante que não teve a mesma divulgação do Proctor.

De acordo com Fernandes (2014), as curvas de compactação podem ser obtidas pelos ensaios de Proctor (1933) que consistem em compactar amostras em um molde cilíndrico, previamente seca ao ar e depois misturada com água até obter determinada umidade homogênea, sendo compactada em várias camadas e cada camada recebe um determinado número de golpes com um soquete de uma determinada altura. Sendo dois tipos grandes ou pequenos de acordo com a granulometria do solo e com dois valores da energia específica de compactação definida por uma equação.

Já, Fernandes (2014), apresenta duas observações ao ensaio de Proctor uma é que o material da amostra tenha um menor volume e peso, tornando mais fácil e econômico o processo de coleta, transporte, armazenamento e secagem em laboratório, as amostras não devem ser reutilizáveis por já terem sofrido quebras de partículas, com secagem e umedecimento alterando suas propriedades; e a outra é que certos solos como residuais e tropicais, com uma secagem prévia pode apresentar em laboratório propriedades bem distintas do solo natural, por isso devem dar preferência para que os solos tenham uma umidade muito próxima à umidade natural, para mais ou para menos podendo compactá-lo com um teor de umidade especificado, evitando assim a secagem severa do material.

De acordo norma DNIT 164 (2013) a amostra do solo é seca ao ar ou realizada por aparelhagem apropriada com a temperatura abaixo de 60°, destorroada, homogeneizada e reduzida com o auxílio do repartidor de amostras ou por quarteamento até a obtenção da amostra representativa com o volume de 6 kilos para solos siltosos ou argilosos e 7 kilos para solos arenosos ou pedregulhosos.

Conforme norma DNIT 164 (2013), o material é passado pela peneira de 19 mm, se houver retenção de material deve ser substituído por quantidade igual, até obter a quantidade de massa da amostra final com massa e granulometria adequadas para o ensaio.

A umidade ótima é o fator que determina a deformação do solo, sendo alcançada quando o solo atinge a maior massa específica aparente seca máxima, assim quando seco o solo suporta uma pressão mecânica aplicada e quando úmido se compacta, ou seja, se a quantidade de água utilizada na compactação da camada de preparo do solo for maior ou menor que a umidade ótima, o solo não atingirá o seu grau de compactação máxima. Sendo obtida em laboratório através do Ensaio de compactação Proctor, (ABNT/NBR 7182, 1986).

Segundo Balbo (2007), é necessário verificar a umidade no procedimento em campo antes de sua compactação para tal valor coincidir com a umidade ótima estabelecida no laboratório durante os ensaios ou apresentar um desvio para mais ou para menos dentro dos limites toleráveis, se não encontrado este valor estipulado o solo deverá ser aerado ou umedecido para adequação, e somente após este processo de correção, ocorre a homogeneização e remoção de fragmentos existentes no material solto começam o processo de compactação do solo.

O subleito após ser preparado deve ser umedecido, com uma quantidade de água que possa auxiliar na compactação, durante o preparo do solo os grãos de material apresentam espaços vazios entre eles quando estão secos necessitando de ser umedecidos para melhor adesão e com isso excluir o ar presente neste material, e assim fazermos uma compactação eficiente com o trabalho. Porém a quantidade de água deve ser definida com o Ensaio de Proctor, como relatamos acima se for superior pode gerar lama e não selar os grãos e se for inferior pode ocasionar a ar entre os grãos deformando o subleito com o passar do tempo.

A massa específica está correlacionada a relação entre massa e volume. Sendo o resultado alcançado pelo processo de umidade ótima é extrema importância determiná-la para analisarmos a estrutura do solo, atingindo com a minimização de vazios do solo, proporcionando o aumento de densidade, da resistência e da estabilidade. (ABNT/NBR 7182, 1986; PINTO, 2006).

O grau de compactação do solo é medido em termos de massa específica aparente seca sendo a massa de sólidos por unidade de volume do mesmo, tendo a massa específica seca depois da compactação dependendo do seu teor de umidade e da energia exercida pelo equipamento durante o processo. (CRAIG e KNAPPETT, 2015).

Segundo Balbo (2007), o valor de massa específica aparente seca é determinado no projeto, estando esta característica ligada a um valor de umidade presente no material homogeneizado, o valor de umidade de compactação para obtermos a maior massa específica

este vinculado ao esforço ou energia de compactação, exercido sobre o material; e em campo será exigido um maior esforço de compactação representando um aumento no número de vezes da passada do equipamento específico de compactação, entretanto a massa deve ser aferida imediatamente após a compactação do solo e comparada com a obtida em laboratório

Porém Balbo (2007) declara que estes métodos têm sido pouco explorados por necessitarem de treinamento e licença para transporte e operação destes equipamentos, pois serem dotados de fonte radioativas no Brasil tem sido fatores limitantes para sua disseminação.

O solo cimento é resultante da cura de uma mistura compactada do solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem, sendo um produto endurecido. Quando preparado respeitando a umidade ótima torna-se um elemento estrutural altamente resistente, sendo utilizado para vários fins, tais como: fundações, alvenaria, pavimentação, muros e diques (ABCP, 1985; ABNT/NBR 12023, 1992).

Segundo Dallacort *et al.* (2002), no solo cimento há possibilidade de adição de outros componentes para dar estabilidade à mistura e reduzir os custos com cimento. Como os resíduos de cerâmica vermelha da construção civil e de olarias são materiais que apresentam excelentes propriedades estabilizantes. O solo-cimento além de ser mais benéfico para a preservação ambiental pode contribuir para reduzir os custos da construção civil, sendo atrativo principalmente em construções rurais, onde a matéria-prima é abundante e de fácil aquisição.

No processo de compactação há redução do volume de ar do material do solo, pelo qual tendo como consequência o aumento da massa específica, podendo influenciar na resistência mecânica, e o teor de umidade no qual atinge sua maior massa específica aparente seca temos assim a denominada umidade ótima (CAPUTO, 1988).

Conforme Bauer (2000), o solo cimento é um material mais resistente e que apresenta menos índices de vazios, reduzindo o ar no material e desta forma obtemos máxima resistência. São poucas pesquisas neste âmbito até o momento, pesquisas que envolvam a umidade ótima de compactação para o solo cimento. Enfim, o maior componente da mistura é o solo, podemos tomar como base valores obtidos de umidade ótima para solos arenosos, visto que este é o tipo de solo indicado.

De acordo com Caputo (1988), o solo cimento aplicado como material de construção apresenta um ponto de umidade ótima, que depende muito da experiência profissional, geralmente o teor de umidade é determinado visualmente. Como os solos são formados

basicamente por argila, areia e silte, sendo que os grãos de areia se apresentam nas dimensões de 4,8 mm à 0,05 mm, o silte entre 0,05 mm e 0,005 mm e a argila grãos inferiores a 0,005 mm.

De acordo com Brasil (2010), a definição da qualidade do produto da camada do subleito deve ser exercida através de um plano de amostragem variável, devendo proceder o controle geométrico, mediante o nivelamento do eixo e das bordas.

A regularização é denominada preparo do subleito, deve-se dar inclinação transversal ao pavimento acabado, pois as camadas superiores de revestimento terão espessuras constantes. (DER/SP, 2005; SENÇO, 2008; SENÇO, 2007).

Segundo Senço (2007), a vários métodos para analisar a resistência do subleito; no método CBR (Índice de suporte Califórnia) é dada em percentual, definida em ensaio de laboratório relacionando a resistência a penetração, com um material considerado padrão no que atribui um CBR = 100%, relaciona a capacidade do subleito em suportar a intensidade do tráfego com uma espessura mínima em relação ao pavimento.

E no método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), a resistência é obtida com a média entre a CBR e outro índice de grupo, baseado no critério de resistência versus ruptura ao cisalhamento, as vias projetadas através deste método apresentam grande resistência a ocorrência de deformações permanentes prematuras, dimensionando os pavimentos flexíveis em função da capacidade do subleito. (SENÇO, 2007).

De acordo com Balbo (2007), o subleito é constituído de material natural consolidado e compactado nos cortes do corpo do pavimento ou por um material transportado e compactado no caso dos aterros. A camada estabilizada granulometricamente, devidamente compactada e regularizada, quando necessário é realizado o reforço do subleito utilizado para reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, tendo origem pela baixa capacidade de suporte do subleito.

O subleito deverá ser iniciado com motoniveladora e finalizado com rolos pneumáticos de rodas múltiplas bamboleantes. Quando houver algum impedimento, haverá a necessidade de utilizar compactadores com soquetes, compactador vibratório portátil ou sapos mecânicos. (DAS, 2011; DER/SP, 2005; SENÇO, 2008; SENÇO, 2007).

As normas do preparo do subleito devem ser definidas ainda no projeto, após serem analisadas com ensaios todas as amostras do local, a ser realizada a pavimentação. Deve-se traçar qual o melhor preparo, e se o material escarificado pode ser utilizado no subleito ou em

outras camadas do pavimento; ou se será necessário utilizar outro material que obedeça às normas e condições esperadas.

E ainda segundo Brasil (2010), a regularização do subleito é uma operação que adequa o leito estradal transversal e longitudinal, com espessura de até 20 centímetros de regularização da terraplanagem do projeto obedecendo às larguras e as cotas na execução da camada final do subleito. E a empresa executora do serviço será responsável pelos serviços e materiais para que não cause nenhum dano ambiental.

O reforço do subleito é realizado em estruturas espessas que resultam de má fundação ou tráfego de cargas muito pesadas, isolados ou fatores combinados. O material utilizado deve apresentar algumas condições mínimas de qualidade, definido pelo Índice Suporte da ordem de 10 ou mais, e com CBR acima de 10%. Tendo índice de grupo de zero ou muito baixo (SENÇO, 2008; SENÇO, 2007).

Os materiais devem resistir às pressões sofridas entre a sub-base e o reforço. Sendo dispensado o reforço do subleito no caso de pavimentos rígidos. A regularização apresenta características tecnológicas bem superiores as de regularização e inferiores a sub-base. Tendo uma função de complementar a sub-base distribuindo os esforços verticais, porém não apresentando características de absorção, sendo uma característica apenas do subleito (SENÇO, 2008; SENÇO, 2007).

Segundo Fraenkel (1980), é comum colocar sobre a camada de regularização do subleito uma camada de reforço do subleito como material fortemente compactado e selecionado reduzindo a espessura do pavimento se necessário. E ainda de acordo com Senço (2007), o reforço do subleito seria considerado uma camada suplementar do subleito ou uma camada complementar da sub-base.

Quando má executada o preparo do subleito apresenta patologias características como: afundamento; ondulação e fendas como as fissuras, as trincas por fadiga, e as trincas transversais. Quando diagnosticado a patologia segundo Silva (2008), há dois tipos de manutenção a preventiva como selagem de trinca e a corretiva como remendo e tratamento superficial. Sendo a regra básica da manutenção de um pavimento descobrir qual é o causador do defeito. Essa atividade deve ser efetuada frequentemente mantendo a pavimentação o mais próximo da construção inicial e analisando sobre condições normais de tráfego e temperatura.

Foram realizados em laboratório, testes de compressão com prensa de rompimento, com as duas características de materiais sendo: solo natural e o solo natural com adição de cimento posteriormente serão analisados resultados das amostras.

3 METODOLOGIA

O método escolhido para elaborar este experimento é o método indutivo, pois posterior análise de laboratório será analisado resultados. (PRODANOV e FREITAS, 2013).

Segundo Biagi (2012), o método indutivo é um processo que consiste generalizar uma relação de causalidade entre dois fenômenos, formulando assim uma lei científica, quando o conhecido é o caso particular com dados particulares constatados descobrindo um ponto em comum tornando-se uma verdade geral. A indução nos permite a extensão do conhecimento enquanto a dedução provará sua certeza.

Conforme Severino (2007) ocorre com a observação dos fatos ocorridos na amostra pelo analisador de forma particular tornando-o por um processo de generalização em universal, concluindo a relação identificada com outras amostras de mesmo material, mesmo sem observá-las.

Já, Gil (2008), generaliza que a partir da observação dos fatos de forma particular casos concretos confirmados cuja causa é ter o conhecimento, em conclusões obtidas por análise. De acordo com Lakatos e Marconi (2003), o mesmo apresenta três etapas que orientam e devem ser seguidas como: certificarmos sempre sobre o essencial em relação ao que se pretende alcançar evitando sempre a confusão entre o acidental e o essencial; assegurarmos que sejam iguais os fatos dos quais a relação pretende generalizar, tentando evitar sempre as aproximações entre os diferentes cuja semelhança é acidental; e nunca perdermos o foco do aspecto quantitativo das amostras.

Este trabalho teve como intuito de expor as patologias de subleito proporcionando uma nova técnica para minimiza-los e identificar se a adição de cimento no subleito reforçará a estrutura. Sendo escolhido o método exploratório, como finalidade desenvolver, esclarecer, tornando possível maior familiaridade com o problema, aprimorando e modificando as idéias, as conclusões e deduções. Sendo desenvolvida com objetivo de uma visão geral aproximadamente por um determinado fato. (GIL, 2002; GIL, 2008; PRODANOV e FREITAS, 2013; SEVERINO, 2007).

As pesquisas exploratórias apresentam um objetivo de proporcionar uma familiaridade com o problema tornando mais explícito ou a construir hipóteses, tendendo a ser bastante flexível considerando os mais variados aspectos relativos aos fatos estudados. (GIL, 2010).

A pesquisa estava voltada para o aspecto experimental, com uso de laboratório e prensa de rompimento, sendo realizado teste em laboratório para análise de compressão, cisalhamento e elasticidade. Propiciando a criação de condições adequadas viabilizando técnicas de observação e manipulação experimental nas bancadas e pranchetas de laboratório. (BRASIL, 2006; SEVERINO, 2007). Este trabalho teve como instrumento de coleta, testes laboratoriais com análise de resultados de corpo de provas, as análises foram realizadas no laboratório da instituição com os equipamentos de Proctor.

A coleta de dados foi realizada com instrumentos e técnicas que proporcionem a coleta dos dados previstos. Exigindo a paciência, esforço, dedicação do avaliador e muita atenção no registro dos dados coletados durante o processo, porém mantendo sempre a amostra de forma clara definindo os objetivos que devemos alcançar e traçando nossas metas. Respeitando sempre prazos estipulados, orçamentos previstos, quanto maior o planejamento menor os riscos de desperdícios durante o processo. (LAKATOS e MARCONI, 2003).

Definimos para o trabalho utilizarmos o solo da cidade de Chapecó – SC retirando a amostra no Bairro Esplanada mais especificadamente na Vila Roma. Foram definidos como objetos de estudo, corpos de prova de material utilizado no subleito de pavimentação sendo adicionado cimento, e estará centrado nos resultados das amostras não probabilísticas, classificadas como amostras intencionais ou de seleção racional. Segundo Prodanov e Freitas (2013), foram escolhidas amostras de qualidade para que seja possível ter uma boa análise do resultado. Foram realizados dois ou três corpos de prova para uma efetiva amostra do material proposto e suas particularidades.

O trabalho utilizou se do meio quantitativo, pois obteve diversos resultados para comprovar a teoria da possibilidade de atingir melhor compactações. (PRODANOV e FREITAS, 2013). A análise teve como determinação organizar e sumariar os dados enfocando as respostas ao problema proposto para a pesquisa. Como no trabalho apresentado estudando a adição de cimento no subleito. A interpretação tem por objetivo ligar a pesquisa atual a outros conhecimentos obtidos anteriormente. Os processos de análise e interpretação variam de acordo com o plano definido na pesquisa de forma delinear e identificar os passos a serem seguidos. (GIL, 2008).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A pesquisa foi realizada através de testes em laboratório, de acordo com a norma DNER-ME 162/94 em anexo, que prevê a utilização do sistema de Proctor, o estudo consiste em estabelecer a melhor compactação para a região de Chapecó - SP em que o solo é em sua grande maioria argiloso. Foram realizados os testes no laboratório de mecânica da instituição.

Inicialmente é pesado tirando toda a medida do cilindro de Proctor. A técnica consiste em utilizar o equipamento, onde depositado uma quantidade de amostra dentro do mesmo adicionando através de camadas e entre cada camada é são aplicados doze golpes com um equipamento chamado soquete.

Após a compactação o cilindro foi pesado novamente com isso encontrando o peso da amostra. O processo se repetiu por várias vezes e em cada novo teste foi adicionado seis por cento de água assim a encontrar a umidade ótima. Sabe se que foi alcançada quando o solo passa a não ganhar mais peso, chegando ao ponto de diminuir peso.

Durante o período da realização dos testes foram alcançados os resultados que comprovassem que ao adicionarmos cimento ao solo auxiliaria na compactação que deparam que a cada adição de cimento chegam a massa especifica mais rápido.

Foram apurados de acordo com a norma, os cálculos seguem abaixo. O material utilizado para o teste era composto de um cilindro com altura de 11,5 cm e diâmetro de 15,20 cm. (A = área; r^2 = raio²; v = volume; h = altura).

$$A = \pi \times r^2 = \pi \times 7,6^2 = 181,4584 \text{ cm}^2$$

Segundo a fórmula o cilindro apresenta uma área de 181,4584 cm² que será ocupada pelo solo natural a ser compactado.

$$v = A \times h = 181,4584 \times 11,5 = 2.086,7716 \text{ cm}^3$$

Segundo o cálculo do volume a amostra terá 2.086,7716 cm³ de produto da amostra.

Tabela 1 - Teste solo natural da massa específica

Teste	Adição de Água (%)	Cilindro (g)	Cilindro com amostra (g)	Amostra (g)
1º	-	3280	6420	3140
2º	6,00	3280	6690	3410
3º	6,00	3280	6890	3610
4º	6,00	3280	7200	3920
5º	6,00	3280	7400	4120
6º	6,00	3280	7180	3900

7°	6,00	3280	6920	3640
----	------	------	------	------

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Cálculos para encontrar o peso massa específica aparente.

$$\rho = \frac{M}{v} = g/cm^3$$

Teste primeira amostra solo natural:

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3140g}{2.086,77cm^3} = 1,505g/cm^3$$

Teste segunda amostra solo natural:

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3410g}{2.086,77cm^3} = 1,634g/cm^3$$

Teste terceira amostra solo natural:

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3610g}{2.086,77cm^3} = 1,730g/cm^3$$

Teste quarta amostra solo natural:

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3920g}{2.086,77cm^3} = 1,878g/cm^3$$

Teste quinta amostra solo natural:

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{4120g}{2.086,77cm^3} = 1,974g/cm^3$$

Teste sexta amostra solo natural:

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3900g}{2.086,77cm^3} = 1,869g/cm^3$$

Teste sétima amostra solo natural:

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3640g}{2.086,77cm^3} = 1,744g/cm^3$$

Tabela 2 - Teste solo natural

Teste	Capsula (g)	Capsula com amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Quantidade de Umidade (g)
1°	14,84	37,25	34,58	2,67
2°	9,81	25,66	23,66	2,00
3°	10,58	26,80	24,46	2,34
4°	14,87	30,60	28,09	2,51
5°	14,86	33,12	29,55	3,57
6°	14,60	30,54	26,94	3,60
7°	15,62	36,22	31,12	5,10

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Cálculo para determinação de umidade ótima sem adição de cimento e após 48 horas em estufa a 105° C.

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100$$

Teste primeira amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{37,25 - 34,58}{34,58 - 14,84} \right) \times 100 = \left(\frac{2,67}{19,74} \right) \times 100 = 13,53\%$$

Teste segunda amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{25,66 - 23,66}{23,66 - 9,81} \right) \times 100 = \left(\frac{2,00}{13,85} \right) \times 100 = 14,44\%$$

Teste terceira amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{26,80 - 24,46}{24,46 - 10,58} \right) \times 100 = \left(\frac{2,34}{13,88} \right) \times 100 = 16,86\%$$

Teste quarta amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{30,60 - 28,09}{28,09 - 14,87} \right) \times 100 = \left(\frac{2,51}{13,22} \right) \times 100 = 18,99\%$$

Teste quinta amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap_s}} \right) \times 100 = \left(\frac{33,12 - 29,55}{29,55 - 14,86} \right) \times 100 = \left(\frac{3,57}{14,69} \right) \times 100 = 24,30\%$$

Teste sexta amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{30,54 - 26,94}{26,94 - 14,60} \right) \times 100 = \left(\frac{3,60}{12,34} \right) \times 100 = 29,17\%$$

Teste sétima amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{36,22 - 31,12}{31,12 - 15,62} \right) \times 100 = \left(\frac{5,10}{15,50} \right) \times 100 = 32,90\%$$

Cálculo massa específica aparente seca.

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w}$$

Teste primeira amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,505}{(1 + 13,53\%)} = 1,325 \text{ g/cm}^3$$

Teste segunda amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,634}{(1 + 14,44\%)} = 1,428 \text{ g/cm}^3$$

Teste terceira amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,730}{(1 + 16,86\%)} = 1,428 \text{ g/cm}^3$$

Teste quarta amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,878}{(1 + 18,99\%)} = 1,579 \text{ g/cm}^3$$

Teste quinta amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,974}{(1 + 24,30\%)} = 1,588 \text{ g/cm}^3$$

Teste sexta amostra

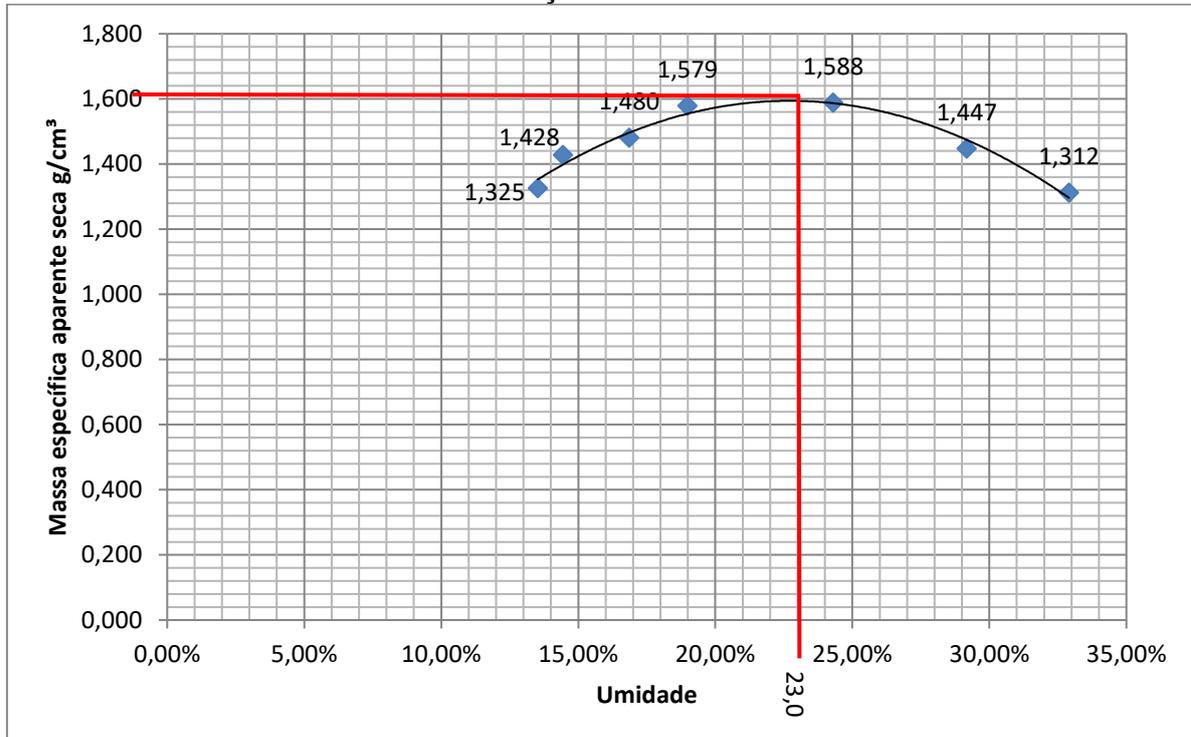
$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,869}{(1 + 29,17\%)} = 1,447 \text{ g/cm}^3$$

Teste sétima amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,744}{(1 + 32,90\%)} = 1,312 \text{ g/cm}^3$$

Esta primeira etapa demonstrou que o solo natural atingiu a massa específica aparente na sexta amostra sendo acrescentado até este momento 30% de água e que o mesmo começou a saturar demonstrado pela queda no peso. O solo natural da região de Chapecó sendo em sua maioria argiloso.

Gráfico 1- Resultado dos testes sem adição de cimento



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Conforme visualizado no gráfico de solo natural para se alcançar umidade ótima e a massa específica aparente, foram necessários seis testes de adição de água com seis por cento em cada teste até alcançarmos o estado de saturação da amostra, tornando impossível a trababilidade da mesma, diante do exposto foi realizado o teste com o cimento. As tabelas a seguir demonstram adição de cimento CP-II, conforme foi adicionado o percentual de cimento ao solo, o mesmo reagiu de maneiras diferentes.

Tabela 3 - Teste 5% de adição de cimento

Teste	Adição de Água (%)	Cilindro (g)	Cilindro com amostra (g)	Amostra (g)
1º	-	3280	6710	3430
2º	6,00	3280	7040	3760
3º	6,00	3280	7370	4090
4º	6,00	3280	7160	3880

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Cálculos para encontrar o peso específico com adição 5% de cimento e após 48 horas em estufa a 105° C.

$$\rho = \frac{M}{v} = g/cm^3$$

Teste primeira amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3430g}{2.086,77cm^3} = 1,644g/cm^3$$

Teste segunda amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3760g}{2.086,77cm^3} = 1,802g/cm^3$$

Teste terceira amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{4090g}{2.086,77cm^3} = 1,960g/cm^3$$

Teste quarta amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3880g}{2.086,77cm^3} = 1,859g/cm^3$$

Tabela 4 - Teste 5% de adição de cimento

Teste	Capsula (g)	Capsula com amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Quantidade de Umidade (g)
1°	14,84	38,39	35,80	2,59
2°	14,13	31,60	28,75	2,85
3°	14,89	28,79	25,79	3,00
4°	15,05	35,03	30,01	5,02

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Cálculo para determinação de umidade ótima com adição 5% de cimento e após 48 horas em estufa a 105° C.

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100$$

Teste primeira amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{38,39 - 35,80}{35,80 - 14,84} \right) \times 100 = \left(\frac{2,59}{20,96} \right) \times 100 = 12,36\%$$

Teste segunda amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{31,60 - 28,75}{28,75 - 14,13} \right) \times 100 = \left(\frac{2,85}{14,62} \right) \times 100 = 19,49\%$$

Teste terceira amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{28,79 - 25,79}{25,79 - 14,89} \right) \times 100 = \left(\frac{3,00}{10,90} \right) \times 100 = 27,52\%$$

Teste quarta amostra.

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s} \right) \times 100 = \left(\frac{35,03 - 30,01}{30,01 - 15,05} \right) \times 100 = \left(\frac{5,02}{14,96} \right) \times 100 = 33,56\%$$

Cálculo massa específica aparente seca.

$$\rho d = \frac{\rho}{1 + w}$$

Teste primeira amostra

$$\rho d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,644}{(1 + 12,36\%)} = 1,463 \text{g/cm}^3$$

Teste segunda amostra

$$\rho d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,802}{(1 + 19,49\%)} = 1,508 \text{g/cm}^3$$

Teste terceira amostra

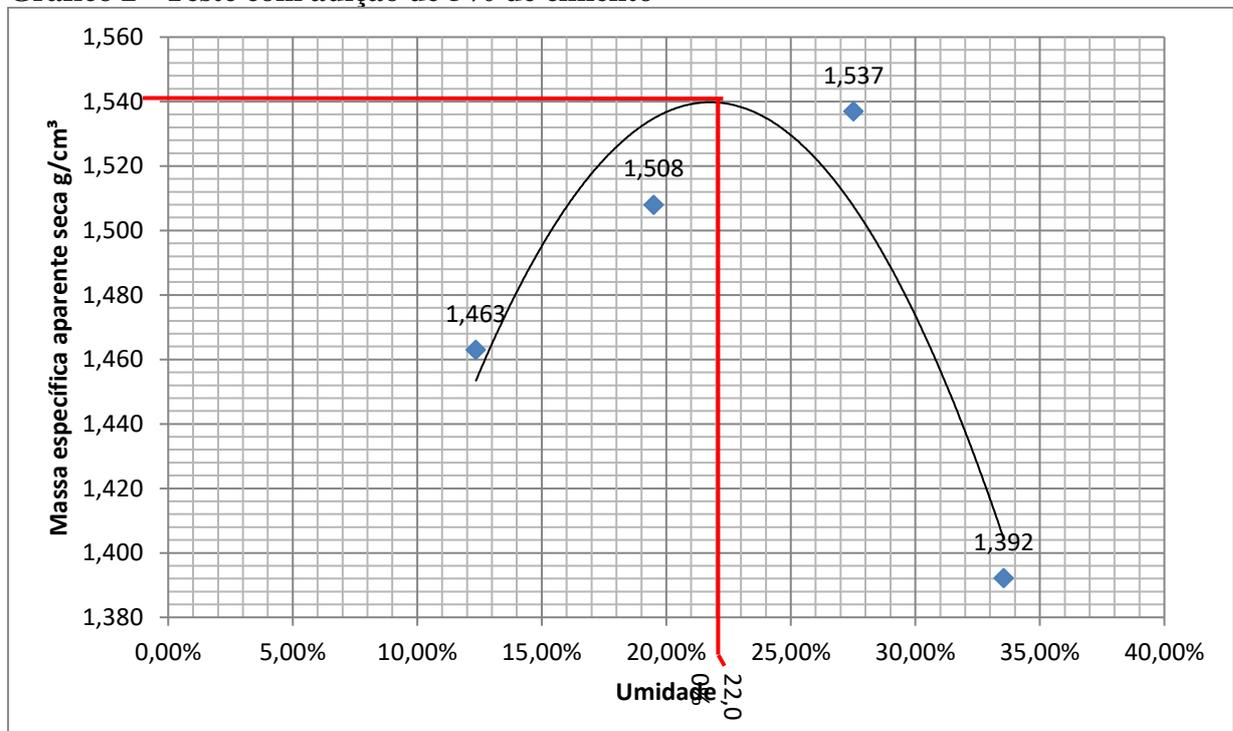
$$\rho d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,960}{(1 + 27,52\%)} = 1,537 \text{g/cm}^3$$

Teste quarta amostra

$$\rho d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,859}{(1 + 33,56\%)} = 1,392 \text{g/cm}^3$$

Observa-se que no Gráfico 2 de 5% de cimento não teve a necessidade de utilizar a mesma quantidade de água para o solo atingir sua umidade ótima e massa específica, pois reagiu com apenas três testes. Após isso sua trababilidade chegou a zero ficando evidente a cada golpe de soquete no teste ele não compactava por isso a reação de compactação após a inclusão desta quantidade de água não possibilitou a continuidade dos testes o mesmo ocorreu com os testes com adição de 10% de cimento.

Gráfico 2 - Teste com adição de 5% de cimento



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A Amostra alcançou a massa específica do solo com adição de cimento com menos carga sendo 1,540g, enquanto no solo natural máximo a massa específica aparente atingiu-se com 1,600g, mas no caso comparativo da umidade ótima foi possível observar que está é vantajosa, pois no solo com adição de 5% cimento alcançou a marca de umidade ótima, com 22,00% sendo um por cento, menos que com solo natural que houve a necessidade de 23,00% para alcançar a umidade ótima.

Logo o solo com 10% (dez por cento) de adição de cimento, foi o que melhor se comportou nos resultados dos testes, ele possui a melhor massa específica aparente seca, pois atingiu a marca 1,605g, o que comparado com os demais, proporciona o primeiro posto, o solo natural alcançou 1,600 e com adição de 5,00%, conseguimos alcançar somente com 1,540 de massa específica e comparando todos pelo nível de umidade ótima, foi possível observar que a amostra com adição de 10% de cimento, ficou com resultado melhor entre os testes antecessores com 22,50% de umidade ótima, sendo que o solo natural consegue alcançar a umidade ótima com 23,00% e com adição de 5,00% de cimento, foi a que melhor se comportou no quesito umidade alcançado a umidade ótima com 22,00%.

Tabela 5 - Teste 10% de adição de cimento

Teste	Adição de Água (%)	Cilindro (g)	Cilindro com amostra (g)	Amostra (g)
1°	-	3280	6770	3490
2°	6,00	3280	7120	3840
3°	6,00	3280	7510	4230
4°	6,00	3280	7270	3990

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Cálculos para encontrar o peso específico com adição 10 % de cimento.

$$\rho = \frac{M}{v} = g/cm^3$$

Teste primeira amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3490g}{2.086,77cm^3} = 1,672g/cm^3$$

Teste segunda amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3840g}{2.086,77cm^3} = 1,840g/cm^3$$

Teste terceira amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{4230g}{2.086,77cm^3} = 2,027g/cm^3$$

Teste quarta amostra

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{3990g}{2.086,77cm^3} = 1,912g/cm^3$$

Tabela 6 - Teste 10% de adição de cimento

Teste	Capsula (g)	Capsula com amostra úmida (g)	Amostra seca (g)	Quantidade de Umidade (g)
1°	14,97	28,46	26,96	1,50
2°	15,65	30,57	28,28	2,29
3°	14,61	28,34	25,45	2,89
4°	10,57	32,99	27,40	5,59

Fonte: Dados da pesquisa (2017)

Cálculo para determinação de umidade ótima com adição 10% de cimento e após 48 horas em estufa a 105°C.

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100$$

Teste primeira amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{28,46 - 26,96}{26,96 - 14,97} \right) \times 100 = \left(\frac{1,50}{11,99} \right) \times 100 = 12,51\%$$

Teste segunda amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{30,57 - 28,28}{28,28 - 15,65} \right) \times 100 = \left(\frac{2,29}{12,63} \right) \times 100 = 18,13\%$$

Teste terceira amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{28,34 - 25,45}{25,45 - 14,61} \right) \times 100 = \left(\frac{2,89}{10,84} \right) \times 100 = 26,66\%$$

Teste quarta amostra

$$w = \left(\frac{P - P_s}{P_s - P_{cap}} \right) \times 100 = \left(\frac{32,99 - 27,40}{27,40 - 10,57} \right) \times 100 = \left(\frac{5,59}{16,83} \right) \times 100 = 33,21\%$$

Cálculo massa específica aparente seca.

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w}$$

Teste primeira amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,672}{(1 + 12,51\%)} = 1,486g/cm^3$$

Teste segunda amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,840}{(1 + 18,13\%)} = 1,558g/cm^3$$

Teste terceira amostra

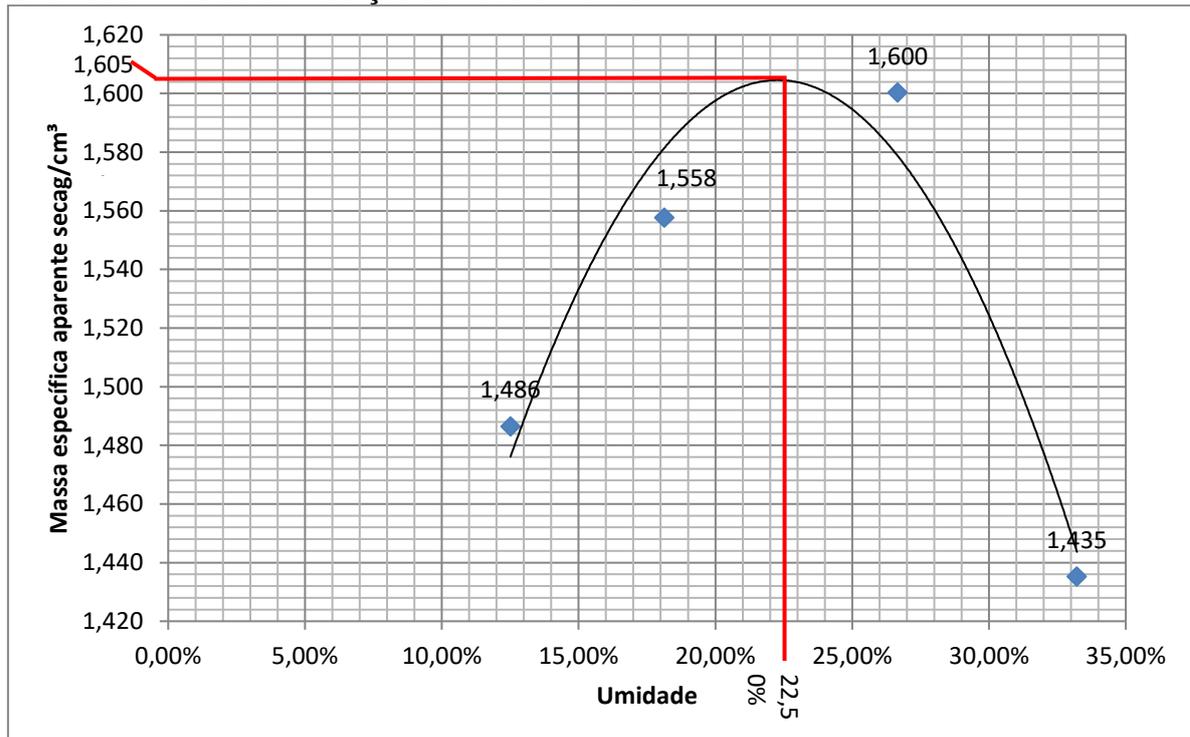
$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{2,027}{(1 + 26,66\%)} = 1,600g/cm^3$$

Teste quarta amostra

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{1,912}{(1 + 33,21\%)} = 1,435g/cm^3$$

Os testes foram conclusivos dentre todos os realizados nesta pesquisa, o que melhor se comportou de acordo com o Gráfico 3, foi à amostra com adição de 10% de cimento, pois ela teve maior alcance de massa específica aparente seca e no caso umidade ela ficou na média dentre as três amostras.

Gráfico 3 - Testes com adição de 10% cimento



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Ao analisar os dados expostos pelos resultados dos testes realizados demonstraram que a relação da massa específica do solo:

$$\text{Relação 10\% com 0\%: } \frac{(1,605-1,600)}{1,600} \times 100 = 0,31\%$$

$$\text{Relação 10\% com 5\%: } \frac{(1,605-1,540)}{1,540} \times 100 = 4,22\%$$

$$\text{Relação 5\% com 0\%: } \frac{(1,600-1,540)}{1,540} \times 100 = 3,89\%$$

Com isso podemos identificar que o ganho de massa específica de 10% com relação ao de 5% é muita pequena, mas se comparado ao de 0% é muito considerável. Os resultados das análises mostraram que há vantagens na adição de cimento alcançando a compactação e massa específica mais rapidamente do que a amostra de solo natural sem adição de cimento, porém este trabalho não contemplou a relação aumento de massa específica e o custo-benefício.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluimos este trabalho, demonstrando que a adição de cimento traz ganho da massa específica aparente seca na compactação do solo para a pavimentação. Após testes no laboratório evidenciaram que a adição de cimento é algo que deve ser explorado, se demonstrou eficaz para a compactação tanto para o limite de umidade ótima quanto para o limite de massa específica.

Conforme os gráficos tabulados na pesquisa, verificamos que a amostra com adição de cimento reagiu com a agilidade nos quesitos para alcançar o limite de umidade ótima e atingindo mais rapidamente sua massa específica. Porém ao analisar o custo-benefício nos deparamos que para a região de Chapecó não é vantajoso ainda, como em regiões arenosas, devido ao solo da localidade ser predominantemente argiloso.

Ao comparar o resultado da amostra com 10% com a amostra de 5% de cimento obtém uma melhoria de 0,31% de massa específica do solo, já ao se comparar a amostra de 10% com a amostra sem adição de cimento apresentou uma grande diferença de 4,22%.

Porém a real vantagem da aplicação do cimento ao solo deve se levar em consideração o estudo de custo, que não foi contemplado neste trabalho (relação aumento de massa específica x custo) para cada teor de adição.

Este trabalho deixou aberta a possibilidade para pesquisas futuras com a técnica CBR para analisar a resistência à compressão e novos percentuais de adição de cimento, pois com o gráfico tabulado de 10% de adição de cimento, mostrou-se vantajoso perante os demais, podendo assim adicionar cotas maiores de cimento e alcançar valores para melhorar o custo-benefício.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Guia de construções rurais: à base de cimento**. São Paulo: ABCP, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023 - Solo-Cimento - Ensaio de compactação**. Abril, 1992.

_____. **NBR 7181 - Solo: Análise granulométrica**. Dezembro, 1984.

_____. **NBR 6459 - Solo-cimento - A Determinação do limite de liquidez**. Outubro, 1984.

_____. **NBR 6484 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.** Fevereiro, 2001.

_____. **NBR 7180 - Solo-cimento - Determinação do limite de plasticidade.** Outubro, 1984.

_____. **NBR 7182 – Solo – ensaio de compactação.** Agosto, 1986.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projetos E Restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5º ed. revisada, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BIAGI, Marta Cristina. **Pesquisa científica.** Curitiba: Jurúa, 2012.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos – Termologia.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Manual de pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NORMA DNIT 134/2010 – ME Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NORMA DNIT 137/2010 – ES Pavimentação – Regularização do subleito – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NORMA DNIT 164/2013 – ME Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Manual de gerência de pavimentos.** Rio de Janeiro, 2011.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações, fundamentos.** 6 ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1988.

CRAIG, R.F.; KNAPPETT, J. A. **Craig mecânica dos solos.** 8.ed. Rio de Janeiro: LTC,2015.

DALLACORT, R.; LIMA JUNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. **Avaliação da resistência à compressão do solo estabilizado com cimento mais resíduo cerâmico moído na região de Cascavel/PR.** In: XI Encontro Anual de Iniciação Científica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola. Ambiental. v.6, n.3, p.511-518, Campina Grande, 2002.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** São Paulo: Centage Learning, 2011.

DER/SP. DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Melhoria e preparo do subleito.** São Paulo: DER/SP, 2005. Disponível em: <FTP://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-001_A.pdf>. Acesso em: 27/09/2016.

FRAENKEL, B. B. **Engenharia Rodoviária**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

FERNANDES, M. de M. **Mecânica dos solos**: introdução à engenharia geotécnica volume 2. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HELENE, P. Prefácio. In: SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. 2.ed. São Paulo: PINI, 2008.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MACIEL FILHO, C. L.; NUMMER, A. V. **Introdução à geologia de engenharia**. 5.ed. Santa Maria: Ed. da UFMS, 2014.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3º Ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2006.

PREGO, A. S. da S. **A Memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO, 2001.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2.ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**: Volume I. 2.ed. São Paulo: PINI, 2008.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23.ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. 2.ed. São Paulo: PINI, 2011.

SOUZA, M. L. de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3.ed. Rio de Janeiro: IPR, 1991. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf>. Acesso em: 25/11/2016.