

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

CAROLINE MACHADO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SOLO LATERÍTICO E
COLAPSÍVEL DE CASCAVEL/PR COM A ADIÇÃO DE RASPAS DE PNEUS
INSERVÍVEIS.**

**CASCAVEL - PR
2018**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

CAROLINE MACHADO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SOLO LATERÍTICO E
COLAPSÍVEL DE CASCAVEL/PR COM A ADIÇÃO DE RASPAS DE PNEUS
INSERVÍVEIS.**

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

**Professor Orientador: Mestre Engenheiro Civil
Maycon André de Almeida**

**CASCAVEL - PR
2018**

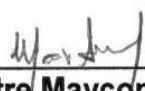
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

CAROLINE MACHADO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO SOLO LATERÍTICO E
COLAPSÍVEL DE CASCAVEL/PR COM A ADIÇÃO DE RASPAS DE PNEU
INSERVÍVEIS**

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

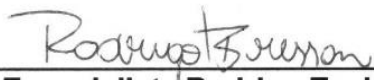
BANCA EXAMINADORA



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



Professor **Mestre Guilherme Irineu Venson**
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Engenheiro Civil



Professor **Especialista Rodrigo Techio Bressan**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 06 de dezembro de 2018.

EPÍGRAFE

“O sucesso é uma consequência e não um objetivo.” (Gustave Flaubert)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Antonio e Marli, por todo o amor, apoio e dedicação comigo durante todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Não poderia faltar neste trabalho de conclusão de curso, um espaço para ser grata à todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a minha formação como Bacharel em Engenharia Civil.

Primeiramente, agradeço à Deus e aos meus pais, responsáveis por essa conquista, por toda a força e sacrifícios feitos por mim ao longo da minha vida, e que além disso, entenderam e aceitaram a minha ausência diária nesta jornada universitária.

Ao meu professor e orientador, Maycon André de Almeida, por todo trabalho e dedicação à conclusão deste trabalho. Sua paciência, conhecimento, disponibilidade e interesse com a formação de seus alunos, são motivo de inspiração para qualquer pessoa, e sem sua participação, este trabalho não teria sido possível. Desejo a ti, Maycon, todo o sucesso do mundo, você é brilhante.

Agradeço também, aos meus colegas de classe Eduardo Henrique Gallas, Isabella de Oliveira Krüger, Letícia Fernanda Pontin Walter e Tiago Rodrigues Ferreira, que foram meus companheiros e amigos durante esses cinco anos. Obrigada por caminharem comigo rumo à essa graduação, sem vocês nada disso seria possível. Vocês estarão sempre presentes no meu coração.

À minha colega e amiga, Karen Eduarda Piazza, que me auxiliou em todos os ensaios de compressão triaxial realizados neste trabalho. Sua dedicação e esforço farão de você uma profissional incrível, e eu espero poder um dia retribuí-la.

À todos os meus outros amigos e familiares, não citados aqui, mas que fazem parte da minha vida e estiveram sempre presentes nesta caminhada, meu muitíssimo obrigada.

Agradeço especialmente, ao meu chefe Eloi Ari Piana Júnior, por toda compressão com as minhas ausências e faltas de expediente nesses últimos meses, devido aos sacrifícios realizados para a conclusão dessa pesquisa.

À equipe de laboratório do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, que me auxiliaram na realização dos ensaios, desde a coleta de solo até a conclusão do último ensaio, meu profundo agradecimento.

Por último, à todos os professores e equipe do curso de Engenharia Civil, especialmente a coordenadora Débora Felten. Vocês fazem deste Centro Universitário, um lugar incrível, e sem vocês minha formação não teria sido possível. Muito obrigada.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da influência de adição de borracha de pneus inservíveis e triturados em um solo argiloso e laterítico, da região de Cascavel – PR, afim de determinar os parâmetros de resistência ao cisalhamento da mistura solo-borracha a partir dos valores de intercepto de coesão, ângulo de atrito entre as partículas e a máxima tensão cisalhante. Ainda, ele apresenta uma comparação entre os resultados obtidos da mistura solo-borracha com o solo *in natura*, e com a adição de outros materiais já pesquisados anteriormente, como o cimento, a cal hidratada e as cinzas de cascas de arroz. Para atingir o objetivo, foram realizados ensaios em laboratório de compressão triaxial com corpos de prova compactados com o teor de umidade ótimo do solo, em dosagens de 5%, 10%, 15% e 20% de borracha nas moldagens. Através dos dados obtidos, analisou-se que a a borracha triturada aumentou os parâmetros de intercepto de coesão, ângulo de atrito e resistência ao cisalhamento do solo quando comparado com o solo *in natura*. No entanto, se comparada aos outros materiais, ela não apresenta os melhores resultados de intercepto de coesão e ângulo de atrito em todas as dosagens. Porém, como é um material econômico e que necessita de descarte correto, a utilização da borracha triturada de pneus inservíveis se torna de interessante para o uso em obras geotécnicas, como no dimensionamento de contenções e muros de arrimo.

Palavras-chave: Resistência ao cisalhamento; Ensaio Triaxial; Solo-Borracha; Pneu Inservível.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquemas do atrito entre dois corpos.....	20
Figura 2: Representação dos critérios de ruptura de (a) Coulomb e (b) Mohr.....	21
Figura 3: Equipamento de cisalhamento direto.....	22
Figura 4: Equipamento de compressão triaxial.....	23
Figura 5: Exemplo de curva de compactação.....	25
Figura 6: Campo Experimental do Centro Universitário Assis Gurgacz.....	29
Figura 7: Ensaio de granulometria do solo do CEEF.....	30
Figura 8: Curva de compactação para os 3 níveis de energia do solo do CEEF.....	32
Figura 9: Borracha de pneu triturada.....	33
Figura 10: 1º metro do Campo Experimental de Engenharia do Centro FAG.....	34
Figura 11: Equipamento Harvard Miniatura e extrator.....	35
Figura 12: Equipamento para ensaio triaxial.....	36
Figura 13: Amostra dentro da câmara de compressão triaxial.....	36
Figura 14: Amostra deformada.....	38
Figura 15: Envoltória de Mohr-Coulomb com 0% de adição de borracha.....	39
Figura 16: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 0% de borracha.....	40
Figura 17: Envoltória de Mohr-Coulomb com 5% de adição de borracha.....	41
Figura 18: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 5% de borracha.....	41
Figura 19: Envoltória de Mohr-Coulomb com 10% de adição de borracha.....	42
Figura 20: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 10% de borracha.....	42
Figura 21: Envoltória de Mohr-Coulomb com 15% de adição de borracha.....	43
Figura 22: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 15% de borracha.....	44
Figura 23: Envoltória de Mohr-Coulomb com 20% de adição de borracha.....	44
Figura 24: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 20% de borracha.....	45
Figura 25: Parâmetros de intercepto de coesão das misturas solo-borracha.....	45
Figura 26: Parâmetros de ângulo de atrito das misturas solo-borracha.....	46
Figura 27: Parâmetros de intercepto de coesão das misturas solo-aditivos.....	47
Figura 28: Parâmetros de ângulo de atrito das misturas solo-aditivos.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões adotados para o ensaio de compactação Proctor.....	25
Tabela 2: Parâmetros de intercepto de coesão e ângulo de atrito do solo do CEEF.....	31
Tabela 3: Teor de umidade ótimo dos 3 níveis de compactação do solo do CEEF.....	32
Tabela 4: Módulo de deformabilidade das porcentagens de misturas solo-borracha...	48

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Resistência ao cisalhamento.....	21
--	----

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	12
1.1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	14
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	15
CAPÍTULO 2.....	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1 Solos.....	16
2.1.1.1 Tipos de solos.....	17
2.1.1.1.1 Solo residual.....	17
2.1.1.1.2 Solo transportado.....	17
2.1.1.1.3 Solo orgânico.....	18
2.1.1.1.4 Solo laterítico.....	18
2.1.1.1.5 Solo colapsível.....	19
2.1.2 Resistência ao cisalhamento dos solos.....	19
2.1.2.1 Atrito entre as partículas.....	19
2.1.2.2 Coesão.....	20
2.1.3 Ensaio para determinação da resistência dos solos.....	22
2.1.3.1 Ensaio de cisalhamento direto.....	22
2.1.3.2 Ensaio de compressão triaxial.....	23
2.1.4 Ensaio de compactação Proctor.....	24
2.1.5 Melhoramento de solos.....	26
2.1.6 Mistura solo-agregado.....	26
2.1.7 Pneus de borracha.....	27
2.1.7.1 Uso do pneu inservível em obras geotécnicas.....	28
CAPÍTULO 3.....	29

3.1 METODOLOGIA.....	29
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa.....	29
3.1.2 Caracterização da amostra de solo.....	30
3.1.3 Borracha de pneu.....	32
3.1.4 Dosagem e Preparação dos corpos de prova.....	33
3.1.5 Procedimento do ensaio triaxial.....	35
CAPÍTULO 4.....	39
4.1 RESULTADOS ESPERADOS.....	39
4.1.1 Teor de 0% de borracha no solo.....	39
4.1.2 Teor de 5% de borracha no solo.....	40
4.1.3 Teor de 10% de borracha no solo.....	41
4.1.4 Teor de 15% de borracha no solo.....	43
4.1.5 Teor de 20% de borracha no solo.....	44
4.1.6 Comparativo dos dados de coesão e ângulo de atrito da mistura solo-borracha.....	45
4.1.7 Comparativo dos dados de coesão e ângulo de atrito das misturas solo-aditivos.....	46
4.1.8 Influência da borracha no módulo de deformabilidade do solo.....	48
CAPÍTULO 5.....	50
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS.....	52
ANEXOS.....	55

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento dos solos se torna importante para o profissional de Engenharia Civil, visto que toda obra é apoiada sobre o mesmo. Segundo Caputo (1988), uma série de numerosos acidentes ocorridos com grandes obras de engenharia, ao fim do Século XIX e início do século XX, veio mostrar a inadequada percepção dos princípios até então admitidos e ainda, a insuficiência de conhecimentos para a tomada de nova orientação.

Atualmente, estudos mais aprofundados permitem o conhecimento das características de um solo quando submetidos à um carregamento. Pesquisas mundiais já foram realizadas com a adição de determinados materiais ao solo para o aumento de sua resistência, como o cal e o cimento, que variam de acordo com o tipo de solo impregado.

Ao analisar aditivos que contribuam para a melhoria de um solo, deve-se levar em consideração os materiais recicláveis. Segundo ROSS e BECKER (2012), é preciso considerar que a natureza não é fonte inesgotável de recursos, suas reservas são finitas e devem ser utilizadas de maneira racional, evitando o desperdício e considerando a reciclagem como processo vital.

O descarte de pneus inservíveis é uma questão delicada no Brasil e no mundo, sendo rara a destinação adequada desse resíduo. Pelas suas características, o pneu se torna um material de difícil disposição e que apresenta riscos à população e ao meio ambiente. Deste modo, a reciclagem de maneira processada ou não se torna a melhor solução para o seu destino final (RISSOLI e ARAÚJO, 2014).

Nesse sentido, estudos já realizados e que serão citados ao longo dessa pesquisa, mostraram que o reaproveitamento dos resíduos do pneu inservível tem sido de grande proveito quando utilizados em obras geotécnicas, e que a mistura solo-borracha pode alterar algumas propriedades do solo, tornando possível o aumento de resistência do mesmo.

Ao analisar a influência da adição de borracha no solo, será possível determinar qual a tensão que o solo poderá sofrer ao suportar uma carga e se o aditivo de pneu é benéfico quando misturado ao mesmo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a influência na resistência ao cisalhamento que a adição de pó de raspas de pneu triturado em diversos teores promove quando aditivado à um solo argiloso e laterítico de Cascavel/PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaios triaxiais com diversas proporções em massa de borracha moída;
- Verificar a proporção de borracha que melhor apresentou comportamento quanto a resistência ao cisalhamento, quando misturado ao solo.
- Comparar o comportamento determinado com o mesmo solo sem qualquer tipo de adição e com aditivos diferentes, como o cimento e a cal, realizados por outros autores.

1.3 JUSTIFICATIVA

O correto conhecimento do solo é de grande importância ao se aplicar tensões geradas por obras de construção civil. Porém, nem sempre os resultados da análise de um determinado solo são satisfatórios para que sejam aplicadas as cargas desejadas. Sendo assim, alguns métodos que se encaixem e ajudem no beneficiamento deste solo podem ser estudados.

Pesquisas como a de Gomes (2016), e Volpato (2015), sugerem que o emprego de misturas solo-agregado apresentam vantagens ao solo quando estes apresentam baixa resistência ao cisalhamento, como é o caso de solos que apresentam elevado índice de vazios.

Outras características como o tipo de solo, estrutura e grau de saturação, por exemplo, também devem ser consideradas ao determinar a resistência de um solo. Portanto, se torna vital conhecer técnicas que melhorem o desempenho do solo e seus critérios de ruptura ao dimensionar estruturas como contenções, taludes e muros de arrimo.

Ao refletir sobre agregados que melhorem o comportamento de um solo, é interessante ponderar aditivos que sejam mais viáveis economicamente e proporcionem redução de impactos ambientais. Visto que a sustentabilidade é um tema frequente e importante, encontrar opções que reutilizem materiais já descartados na natureza e/ou não apresentem destinação correta é no mínimo, necessário.

A partir dessas informações, e com o intuito de retirar da natureza um material que apresenta riscos ao bem-estar da sociedade e do meio ambiente, esse estudo foi dedicado em utilizar o pneu inservível como um agregado, para aumentar a resistência ao cisalhamento de solos considerados de má qualidade para obras geotécnicas.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Como será o comportamento da resistência ao cisalhamento do solo superficial e laterítico de Cascavel – PR, devido a adição de borracha triturada em diversas proporções?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Em razão de alguns solos não apresentarem resistência ao cisalhamento satisfatória para situações de projetos, pesquisas que analisem o comportamento mecânico das misturas solos-agregados são realizadas com o objetivo de reforçar os solos e dar subsídios e dados para projetos, ajudando a comunidade técnica a fazer obras com maior segurança e economia. Características como baixo peso específico, baixa condutividade térmica e propriedades granulométricas, são as responsáveis pela escolha da borracha triturada de pneus em obras geotécnicas.

Estudos como o de Gomes (2016) e Volpato (2015), observaram aumento na resistência ao cisalhamento do solo de Cascavel – PR, quando adicionados cimento e cal, respectivamente. Rissoli e Araújo (2014), também descrevem aumentos da resistência ao cisalhamento de misturas de um solo arenoso com borracha de pneu. Portanto, aumento nos valores de resistência ao cisalhamento, a partir da adição de borracha triturada no solo argiloso e laterítico de Cascavel – PR, são prováveis.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada ao estudo da resistência ao cisalhamento de amostras de solo argiloso retirados do primeiro metro do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário FAG (CEEF), localizado na cidade de Cascavel – PR.

Foram realizados ensaios triaxiais, em laboratório, com adição de quatro porcentagens diferentes de massa de borracha triturada em relação às amostras de solo, para verificar a variação de resistência ao cisalhamento que as diferentes misturas solo-borracha apresentam entre si e quando comparadas com as condições *in natura* do solo.

A granulometria da borracha utilizada não foi especificada por se tratar da utilização de pneus triturados pela própria de fábrica pneumática, viabilizando economicamente seu uso em obras geotécnicas.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado o conceito de solos e sua caracterização, os ensaios laboratoriais para determinação da resistência, e por último, técnicas para melhoramento do solo e o reaproveitamento dos pneus inservíveis.

2.1.1 Solos

Segundo Pinto (2006), o solo é definido como a mistura de partículas pequenas que se diferenciam pelo tamanho e pela composição química. Eles originam-se da decomposição das rochas que constituíam inicialmente a crosta terrestre, sendo decorrente de agentes físicos e químicos.

Segundo as dimensões das suas partículas e dentro de determinados limites convencionais, as frações constituintes dos solos recebem designações próprias que se identificam de acordo com o diâmetro estabelecido (CAPUTO, 1988). De acordo com a NBR 6502 (1995), as partículas que compõem o solo são:

- Pedregulho: Solo formado por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0mm e 60mm. Quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados cascalho ou seixo.
- Areia: Solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06mm e 2,0mm. A areia ainda é subdividida entre Fina, com diâmetro entre 0,06mm e 0,2mm; Média, com diâmetro entre 0,2mm e 0,6mm; e Grossa, com diâmetro entre 0,6mm e 2,0mm.
- Silte: Solo que apresenta baixa ou nenhuma plasticidade, e que exibe baixa resistência quando seco o ar. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002mm e 0,06mm.
- Argila: Solo de granulação fina constituído por partículas com dimensões menores que 0,002mm, apresentando coesão e plasticidade.

Ainda de acordo com a NBR 6502 (1995), o solo é classificado como Solo Fino quando apresenta a maior parte de suas partículas menores que 0,075mm, e Solo Grosso quando apresenta a maior parte, maiores que 0,075mm.

A classificação dos solos pela origem é um complemento importante para o conhecimento das ocorrências e para a transmissão de conhecimentos acumulados. Algumas vezes, a indicação da origem do solo é tão ou mais útil do que a classificação sob o ponto de vista da constituição física (PINTO, 2006). Os solos determinados pela origem são classificados em solos residuais, solos transportados, solos orgânicos, solos lateríticos e solos colapsíveis.

2.1.1.1 Tipos de solos

2.1.1.1.1 Solo residual

Solos residuais são aqueles de decomposição das rochas que se encontram no próprio local em que se formaram. Para que eles ocorram, é necessário que a velocidade da decomposição da rocha seja maior do que a velocidade de remoção por agentes externos. A velocidade da decomposição depende de vários fatores, entre os quais a temperatura, o regime de chuvas e a vegetação (PINTO, 2006).

Segundo Azevedo (2010), nos lugares onde predominam tais solos, é possível encontrar materiais com granulometria bem graduada, pois o material encontrado constitui-se de grãos, médios e finos, sem que ocorra a predominância de algum dos tipos. DNIT (2006) cita que esse exemplo de solo é comum no Brasil, normalmente na região Centro-Sul, devido ao próprio clima tropical.

2.1.1.1.2 Solo transportado

Os solos transportados são aqueles que foram levados ao seu atual local por algum agente de transporte, e as características dos solos são determinadas em função do agente transportador (PINTO, 2006). Conforme DNER (1996), esse tipo de solo apresenta menos homogeneidade que os solos residuais, são mais inconsolidados, fofos e com profundidades variáveis.

De acordo com Caputo (1988), os solos podem ser aluvionares (quando transportados pela água), eólicos (quando transportados pelo vento), coluvionares (pela ação da gravidade) e

glaciais (transportados por geleiras). Devido aos agentes transportadores, esse tipo de solo é comum em áreas mais restritas, como em encostas ou áreas litorâneas, por exemplo.

Segundo Vargas (1978), os solos transportados pela água são depositados quando a corrente sofre uma diminuição da velocidade, sendo os grãos maiores depositados primeiro e formando terraços nas margens e planícies dos rios. Os de transporte por gravidade, sofrem queda de massa de solo e rochas ao longo de taludes, e geralmente apresentam características de composição das partes de rochas mais elevadas.

Os transportados pelo vento são formados por partículas mais finas, devido a seleção natural do vento, e são os que apresentam depósitos com maiores distâncias. E os glaciais, são transportados da mesma forma que os coluvionares, por gravidade, onde quando as partes mais altas das geleiras derretem e escorrem, levam em sua corrente partículas de solo para as zonas mais baixas (VARGAS, 1978).

2.1.1.1.3 Solo orgânico

Segundo Pinto (2006), são chamados solos orgânicos aqueles que contêm uma quantidade apreciável de matéria decorrente da decomposição de origem vegetal ou animal, em vários estágios de decomposição. Geralmente argilas ou areias finas, os solos orgânicos são de fácil identificação pela cor escura e pelo odor característico.

Eles são encontrados em locais como áreas adjacentes a rios, áreas litorâneas e depressões continentais (BUENO, VILAR, 1979). Pinto (2006) ainda aponta que os solos orgânicos também são considerados problemáticos para a construção civil, por serem muito compressíveis.

2.1.1.1.4 Solo laterítico

Os solos lateríticos são muito expressivos em regiões tropicais e associam-se a solos muito desenvolvidos, espessos e não saturados (ESPINDOLA, DANIEL, 2008). De acordo com Pinto (2006), a denominação de lateríticos incorporou-se à terminologia dos engenheiros, e os solos lateríticos apresentam-se na natureza, geralmente, não saturados e com índice de vazios elevado. Devido ao índice de vazios ser elevado, o atrito entre os grãos, e consequentemente a resistência desse tipo de solo é prejudicada, ocasionando ao mesmo, pequena capacidade de suporte.

Ao entrar em contato com a água, a resistência do solo laterítico é ainda mais prejudicada. Porém quando compactados, sua capacidade de suporte é elevada, e por isto são muito empregados no uso de pavimentação e aterros (PINTO, 2006).

2.1.1.1.5 Solo colapsível

São solos não saturados que apresentam uma considerável e rápida compressão quando submetidos a um aumento de umidade sem que varie a tensão total a que estejam submetidos (PINTO, 2006).

Segundo a EMBRAPA (1997), o colapso do solo ocorre quando o solo sob carga é submetido a um aumento no conteúdo de água fazendo com que a infiltração da água decomponha os cimentos naturais ou pontes de argila, diminuindo a coesão entre os grãos. Desta forma, a magnitude das tensões cisalhantes entre os grãos excedem a resistência das pontes de argila.

2.1.2 Resistência ao cisalhamento dos solos

Segundo Pinto (2006), a resistência ao cisalhamento de um solo define-se como a máxima tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo no plano em que a ruptura ocorrer.

Muitos dos problemas geotécnicos encontrados na prática da engenharia estão relacionados à resistência ao cisalhamento do solo, por exemplo: fundações rasas e profundas, capacidade de carga, empuxo de terra e estabilidade de taludes. Esses problemas são solucionados em sua grande maioria baseando-se na resistência ao cisalhamento e utilizando-se do conceito que os solos estejam na condição saturada. (KÜHN, GITIRANA, 2014).

De acordo com Caputo (1988), para a determinação da resistência ao cisalhamento de um solo, foram definidos por Coulomb dois parâmetros necessários: ângulo de atrito entre as partículas e o intercepto de coesão.

2.1.2.1 Atrito entre as partículas

A resistência entre as partículas, gerada pelo atrito, pode ser vista por analogia à Lei de Coulomb que define resistência ao deslizamento de um corpo rígido sobre uma superfície plana.

Esta resistência depende da tensão normal e do coeficiente de atrito entre o corpo e o plano (OLIVEIRA *apud* PINTO, 2016). A Figura 1 a seguir, representa o esquema de atrito entre dois corpos.

Figura 1: Esquemas do atrito entre dois corpos



(Fonte: PINTO, 2006).

Segundo Pinto (2006), se N é a força vertical transmitida pelo corpo, a força horizontal T necessária para fazer o corpo deslizar deve ser superior a força vertical multiplicada pelo coeficiente de atrito entre os dois materiais.

Existe também uma diferença entre as forças transmitidas nos contatos entre os grãos de areia e os grãos de argila. Nos contatos entre os grãos de areia, geralmente as forças transmitidas são suficientemente grandes para expulsar a água da superfície, de forma que os contatos ocorrem geralmente entre os dois minerais. No caso das argilas, o número de partículas é muitíssimo maior, e a parcela de força transmitida em cada contato é extremamente reduzida (PINTO, 2006).

2.1.2.2 Coesão

A resistência ao cisalhamento dos solos deve-se essencialmente ao atrito entre as partículas. Entretanto, a atração química entre essas partículas pode provocar uma resistência independente da tensão normal atuante no plano, constituindo uma coesão real (PINTO, 2006).

De acordo com Caputo (1988), a coesão distingue-se em coesão aparente e coesão verdadeira. A primeira, é resultante da pressão capilar da água contida nos solos e acaba quando a água sai da estrutura de um solo devido à evaporação, por exemplo. E a segunda, é devido as forças eletroquímicas de atração das partículas da argila.

Segundo Pinto (2006), a coesão real é muito pequena em solos sedimentares perante a resistência devida ao atrito dos grãos. Porém, em solos naturalmente cimentados, essas parcelas

apresentam um valor significativo. Portanto, embora mais visível nas areias, com o exemplo das esculturas de areia feitas nas praias, é nos solos argilosos que a coesão real adquire maiores valores.

A teoria dos critérios de ruptura de Coulomb, definidas através dos parâmetros de coesão e ângulo de atrito entre as partículas, podem ser representadas através da Equação 1.

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (1)$$

Onde:

τ = resistência ao cisalhamento (kPa);

c = intercepto de coesão (kPa);

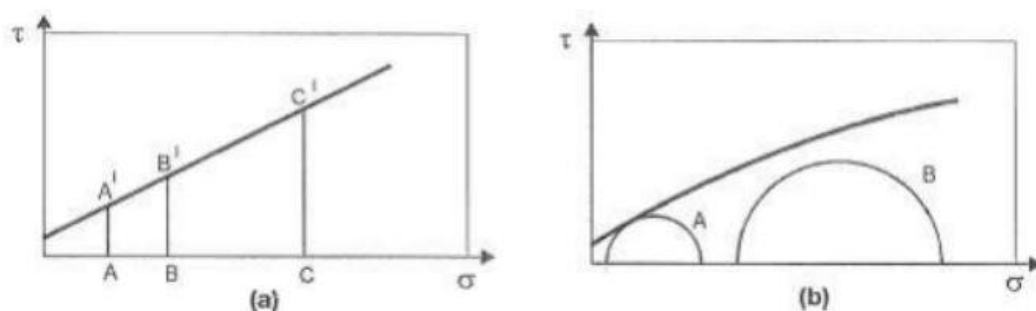
σ = tensão normal (kPa);

ϕ = ângulo de atrito ($^{\circ}$).

A teoria de Mohr, ainda aponta que o estado de tensões atuantes em todos os planos que passam por um ponto, pode ser representado graficamente num sistema de coordenadas em que as abscissas são as tensões normais e as ordenadas são as tensões cisalhantes.

Conforme Pinto (2006), o critério de resistência da envoltória de Mohr, fica análogo ao de Coulomb, justificando a expressão Critério de Mohr-Coulomb, empregada na Mecânica dos Solos. Sendo assim, a reta utilizada na teoria de Coulomb, substitui a envoltória curva da teoria de Mohr, devido a essa última ser de difícil aplicação. A seguir, a Figura 2 mostra a representação dos dois critérios de ruptura.

Figura 2: Representação dos critérios de ruptura de (a) Coulomb e (b) Mohr.



(Fonte: PINTO, 2006).

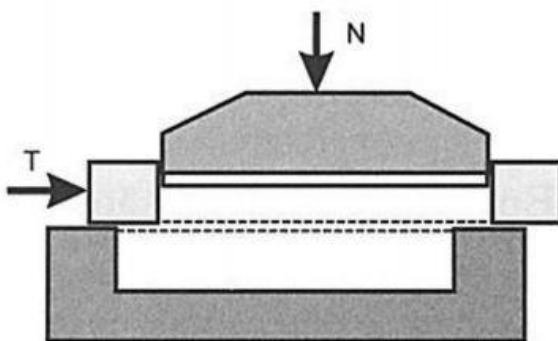
2.1.3 Ensaios para determinação da resistência de solos

Segundo Pinto (2006), dois tipos de ensaios são costumeiramente empregados para a determinação da resistência ao cisalhamento dos solos: o ensaio de cisalhamento direto e o ensaio de compressão triaxial.

2.1.3.1 Ensaio de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo procedimento para a determinação da resistência ao cisalhamento e se baseia diretamente no critério de Coulomb (PINTO, 2006). Segundo Caputo (1988), ele consiste em determinar sob uma tensão normal, qual a tensão de cisalhamento capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo colocada dentro de uma caixa composta de duas partes deslocáveis entre si (Figura 3).

Figura 3: Equipamento de cisalhamento direto



(Fonte: PINTO, 2006).

Aplica-se inicialmente uma força vertical N , e uma força tangencial T é aplicada no anel que contém a parte superior do corpo de prova, e provoca seu deslocamento. Essas forças, N e T , divididas pela área da seção transversal do corpo de prova, indicam as tensões normais e de cisalhamento que nele ocorrem (PINTO, 2006).

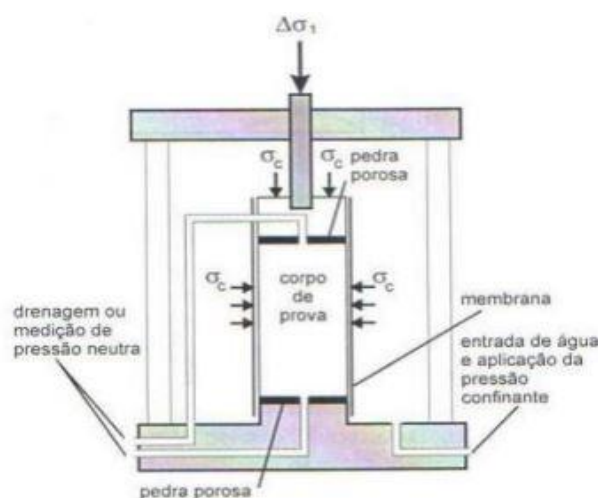
Pinto (2006) ainda aponta que o ensaio é muito prático, mas a análise do estado de tensões durante o carregamento é complexa. Ele também não permite a determinação de parâmetros de deformabilidade do solo, nem mesmo do módulo de cisalhamento, pois não é conhecida a distorção.

2.1.3.2 Ensaio de compressão triaxial

O ensaio de compressão triaxial convencional consiste na aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial sobre um corpo de prova cilíndrico do solo. Para isto, o corpo de prova é colocado dentro de uma câmara de ensaio (Figura 4), e envolto por uma membrana de borracha. A câmara é enchida com água, à qual se aplica uma pressão chamada pressão confinante. Essa pressão atua em todas as direções, inclusive na vertical, e o corpo de prova fica sob um estado hidrostático de tensões (PINTO, 2006).

Segundo Caputo (1988), esse ensaio é teoricamente mais perfeito que o ensaio de cisalhamento direto, e o mais usado. Determinando-se pares de tensões confinante (σ_3) que é fixa no começo do ensaio, e normal (σ_1) onde aumenta progressivamente, e correspondentes à ruptura das diversas amostras ensaiadas, traçam-se os respectivos Círculos de Mohr (Figura 1). Em seguida, assimilando-se a envoltória desses círculos à reta de Coulomb, obtém-se a coesão e o ângulo de atrito.

Figura 4: Equipamento de compressão triaxial



(Fonte: PINTO, 2006).

Na base do corpo de prova e no cabeçote superior, são colocadas pedras porosas, o que permite a drenagem através dessas peças, que são permeáveis. A drenagem pode ser impedida com registros apropriados. Se a drenagem for permitida e o corpo de prova estiver saturado ou com elevado grau de saturação, a variação de volume do solo durante o ensaio pode ser determinada pela medida de volume de água que sai ou entra no corpo de prova. Mas se a drenagem não for permitida, em qualquer fase do ensaio, a água ficará sob pressão (PINTO, 2006).

Segundo Pinto (2006), no que se refere às condições de drenagem, três tipos de ensaios triaxiais são descritos: o ensaio adensado drenado, o ensaio adensado não drenado e o ensaio não adensado e não drenado.

- Ensaio Adensado Drenado (CD, ou *Consolidated Drained*): Aplica-se a pressão confinante e espera-se que o corpo de prova adense, ou seja, que a pressão neutra se dissipe. A seguir, a tensão axial é aumentada lentamente, para que a água sob pressão possa sair. Desta forma, a pressão neutra durante todo o carregamento é praticamente nula, e as tensões totais aplicadas indicam as tensões efetivas que estavam ocorrendo. A quantidade de água que sai do corpo de prova durante o carregamento axial pode ser medida e, se o corpo de prova estiver saturado, indica a variação de volume. Esse ensaio também é conhecido como Ensaio Lento.
- Ensaio Adensado Não Drenado (CU, ou *Consolidated Undrained*): Aplica-se a pressão confinante e deixa-se dissipar a pressão neutra correspondente. Assim, o corpo de prova adensa sob pressão confinante. A seguir, carrega-se axialmente sem drenagem. Ele é chamado também de Ensaio Rápido Pré-Adensado e indica a resistência não drenada em função da tensão de adensamento. Se as pressões neutras forem medidas, a resistência em termos de tensões efetivas também é determinada.
- Ensaio Não Adensado Não Drenado (UU, ou *Unconsolidated Undrained*): Ensaio em que o corpo de prova é submetido à pressão confinante e, a seguir, ao carregamento axial, sem que se permita qualquer drenagem. O teor de umidade permanece constante, e, se o corpo de prova estiver saturado, não há variação de volume. O ensaio é geralmente interpretado em termos de tensões totais, e também chamado de Ensaio Rápido por não requerer tempo para a drenagem.

2.1.4 Ensaio de Compactação Proctor

O ensaio de compactação Proctor é realizado com a intenção de se determinar a umidade ótima e o peso específico seco máximo de um solo. Ele foi padronizado pela NBR 7182 (2006), e pode ser dividido em ensaio de compactação normal, intermediário ou modificado, dependendo da energia aplicada. De acordo com Pereira (2013), o ensaio modificado é utilizado

nas camadas mais importantes, para os quais a melhoria das propriedades do solo, justifica essa energia maior de compactação.

Segundo Pinto (2006), a amostra de solo utilizada deve ser previamente seca ao ar e destorroada. Inicia-se o ensaio, acrescentando água até que o solo fique com cerca de 5% de umidade abaixo da umidade ótima. Com a umidade bem uniformizada, uma porção de solo é colocada em um cilindro padrão e submetida a um certo número de golpes de um soquete, dependendo do tipo de energia de compactação utilizada para o ensaio (Tabela 1). A porção do solo compactado deve ocupar cerca de um terço da altura do cilindro.

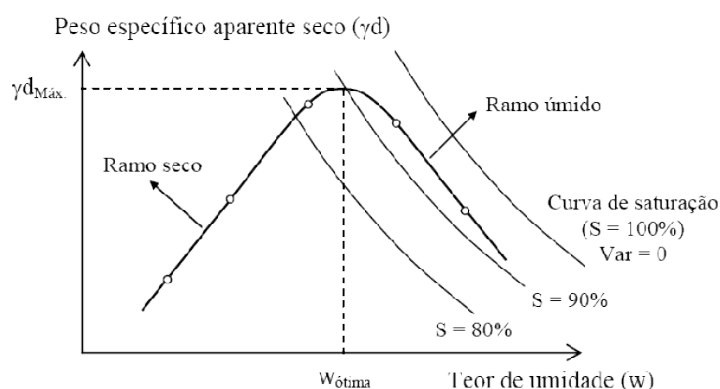
Tabela 1: Padrões adotados para o ensaio de compactação Proctor

CILINDRO	CARACTERÍSTICAS INERENTES A CADA ENERGIA DE COMPACTAÇÃO	ENERGIA		
		NORMAL	INTERMEDIÁRIA	MODIFICADA
PEQUENO	SOQUETE	PEQUENO	GRANDE	GRANDE
	NÚMERO DE CAMADAS	3	3	3
	NÚMERO DE GOLPES POR CAMADA	26	21	27
GRANDE	SOQUETE	GRANDE	GRANDE	GRANDE
	NÚMERO DE CAMADAS	5	5	5
	NÚMERO DE GOLPES POR CAMADA	12	26	55
	ALTURA DO DISCO ESPAÇADOR (mm)	63,5	63,5	63,5

(Fonte: NBR 7182/2016).

O processo então é repetido mais algumas vezes, atingindo-se uma altura um pouco superior à do cilindro. Determina-se a massa específica do corpo de prova e com a amostra em seu interior, calcula-se a umidade determinando a massa específica seca. Com os dados obtidos, desenha-se a curva de compactação, expressa na Figura 5, e que mostrará a umidade ótima e o peso específico seco máximo do solo (PINTO, 2006).

Figura 5: Exemplo de curva de compactação



(Fonte: RUTHES, 2018).

2.1.5 Melhoria de Solos

Em inúmeras situações nas obras geotécnicas, os solos disponíveis na região da obra não atendem a todas as exigências de projeto. Têm-se como alternativa para viabilização do seu uso, a melhoria de suas características de resistência com a adição de algum material que propicie esse ganho (CHRUSCIAK, 2013).

Segundo Gaspar (2013) *apud* Beletini (2016), as estabilizações do solo podem ser feitas de duas formas: Física ou Química, que está relacionada com o uso de aditivos que interagem nas partículas do solo; ou por Estabilização Mecânica, que se dá pela melhoria das propriedades de um solo através da mistura com outros materiais, sendo eles solos ou agregados. A Estabilização Mecânica também pode ser feita a partir da compactação do solo, com a intenção de aumentar sua resistência.

De acordo com Chrusciak (2013), reforços de solo com agregados comuns ainda são muito utilizados, sendo cal e cimento os principais. Porém, devido a tendência ambiental dos últimos anos, muitos estudos têm se voltado para a utilização de materiais alternativos, sendo um deles o pneu descartado.

2.1.6 Mistura solo-agregado

Atualmente, muitas pesquisas tem sido realizadas com a mistura de agregados à algum tipo de solo para melhoria das suas propriedades. No solo laterítico de Cascavel, Volpato (2015) realizou uma análise de resistência ao cisalhamento do solo com adição de cal hidratada. Ele apontou que todos os teores de cal hidratada aumentaram a resistência ao cisalhamento em relação a dosagem previamente ensaiada.

Segundo Gomes (2016), que realizou a pesquisa da mistura solo-agregado com adição de cimento, a resistência ao cisalhamento do solo também apresentou resultados positivos. Contudo, para viabilizar seu uso no solo de Cascavel/PR, é necessário utilizar dosagens intermediárias de 5% e 10%, uma vez que, mesmo apresentando resultados inferiores à melhor dosagem ensaiada, seus parâmetros foram superiores aos do solo em sua condição natural.

Métodos que utilizem resíduos sólidos também são muito analisados, visto que esses resíduos, se descartados incorretamente, podem gerar danos ao meio ambiente. Um estudo realizado por Beletini (2016), utilizou como aditivo, cinzas de cascas de arroz. Segundo o estudo, a adição da cinza preencheu os vazios do solo, gerando estabilização granulométrica, e

aumentando significativamente sua resistência ao cisalhamento. Porém, apesar de aumentar a resistência do solo se comparado com a condição natural dele, o aumento dessa resistência ainda não é maior que o ocasionado pela adição de cal hidratada ou cimento, citados acima.

Welter (2016), realizou uma pesquisa com o uso de borracha como aditivo ao solo. No entanto, a pesquisa verificou apenas o desempenho mecânico e comportamento do solo através do Ensaio CBR. A pesquisa constatou que a adição da borracha só obteve resultados positivos se adicionadas até 1% de massa em relação ao solo. Porém, devido a mistura moída dela ser capaz de preencher os vazios do solo, poderia se tornar eficiente se utilizada para aumentar a resistência ao cisalhamento de um solo.

2.1.7 Pneus de borracha

Segundo ANIP (2014) *apud* Rissoli e Araújo (2014), a produção de pneus de borracha teve seus primórdios no século XVIII. Entretanto, a tecnologia aplicada na época era pouco desenvolvida. Somente com a descoberta de Charles Goodyear de que tratamentos térmicos na borracha melhoravam o desempenho dos pneus, que ocorreu a disseminação do seu uso em todo o mundo.

No Brasil, a produção de pneus começou em 1934 pela implantação do Plano Geral de Viação Nacional, e foi a partir disso que o país se tornou grande produtor de pneus (RISSOLI e ARAÚJO, 2014). De acordo com Chrusciak (2013), um pneu é composto basicamente pela banda de rodagem, ou superfície de rolamento, e aro de aço, ou carcaça. Os pneus de carros de passeio ainda são compostos por cintas, talão e flancos.

Medeiros et al (2000) ainda aponta que pneus são constituídos de borracha e são fortemente reforçados com fibras e metais, resultando num material com elevada resistência a tensões radiais. As propriedades mecânicas dos pneus permanecem disponíveis mesmo após encerrada a vida útil como elemento de rodagem.

A crescente demanda por pneus pelas indústrias das mais diversas categorias de veículos, e em especial a automobilística, vem sendo a maior responsável pelo aumento da produção e comercialização de pneumáticos em todo o mundo, gerando oconseqüente aumento do número de pneus inservíveis descartados no montante dos resíduos sólidos urbanos (SENEZ, s.d).

A Resolução CONAMA 258 (1999), define pneu ou pneumático inservível aquele que não mais se presta ao processo de reforma que permita condição de rodagem adicional. Essa

resolução também determina aos fabricantes e importadoras do Brasil, que fiquem obrigados a coletar e dar destinação ambientalmente adequada aos pneus inservíveis.

Infelizmente, a maioria dos pneus usados ainda não são adequadamente descartados no meio ambiente, sendo muitas vezes dispostos em aterros sanitários, lixões, margens de rios, terrenos a céu aberto e outros locais não apropriados, sem nenhum critério técnico, resultando em impactos ao meio ambiente e à saúde humana (SENEZ, s.d).

Sendo portanto, o pneu inservível um material de difícil descarte e que apresenta riscos à população, a reciclagem de maneira processada ou não se torna a melhor solução para o seu destino final. É vasta a gama de aplicações da borracha de pneu após sua vida útil de rodagem, sendo que aplicações geotécnicas se destacam por consumirem grande volume desses resíduos (RISSOLI e ARAÚJO, 2014).

2.1.7.1 Uso do pneu inservível em obras geotécnicas

A utilização de pneus usados em obras de engenharia apresenta-se como uma alternativa que associa a eficiência mecânica e o baixo custo do material, favorecendo a demanda por um rejeito que apresenta riscos ao meio ambiente. (MEDEIROS et al, 2000). De acordo com Hausmann (1990), uma das primeiras aplicações de pneus usados na prática da Engenharia Civil ocorreu na década de 70, com a reconstrução de um aterro reforçado com pneus em uma rodovia no norte da Califórnia.

Existe uma gama de pesquisas que visam à reutilização de borrachas de pneus. O campo mais estudado dentro desta diretriz sem dúvida é o da pavimentação asfáltica, e em geral as migalhas de pneus são os materiais mais usados nesta área (CHRUSCIK, 2013).

Segundo Rissoli e Araújo (2014), seu baixo peso específico se torna interessante em aterros em que o seu peso próprio é fator limitante para estabilidade de taludes, ou para estruturas em que o aterro gerará uma pressão horizontal excessiva. Sua resistividade térmica, tem atraído engenheiros a aplicarem camadas de 150 a 450 mm de espessura como isolante térmico objetivando diminuir a penetração de camada congelada em bases de rodovias. Características de permeabilidade e granulométricas desses materiais também os tornam atraentes para uso em estruturas com funções de drenagem. Outra característica importante desses resíduos, é sua aderência com outros materiais utilizados como reforço em obras geotécnicas, como geotêxteis e geogrelhas.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

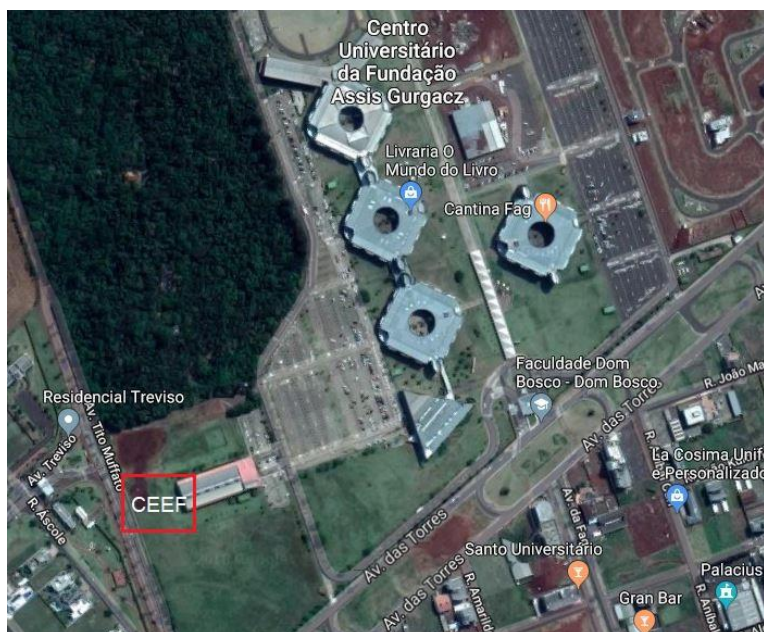
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Trata-se de um estudo experimental de determinação da resistência ao cisalhamento de um solo, por meio de ensaios triaxiais, quando adicionado borracha de pneu triturado. Para Rodrigues, Brito e Campanharo (2011), essa pesquisa é classificada como quantitativa, pois apresenta os resultados dos ensaios realizados e o comparativo desses com o de pesquisas similares.

Segundo Almeida e Oliveira (2018), a determinação da resistência ao cisalhamento se torna importante para posteriores análises de estabilidade e segurança de taludes e barragens, para projetos de dimensionamento de fundações, e verificação de segurança e dimensionamento de contenções e arrimos.

Para a realização da pesquisa, foram utilizadas amostras de solo do primeiro metro do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário FAG (CEEF), localizado na cidade de Cascavel, região oeste do estado do Paraná, conforme Figura 6.

Figura 6: Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário FAG



(Fonte: Google Maps, 2018).

Após os ensaios triaxiais que determinam a resistência ao cisalhamento da mistura solo-borracha, foi realizada uma análise dessa mistura em comparação com o solo *in natura*, determinado por Zen e Almeida (2018), e com misturas de outros aditivos realizados com o mesmo solo.

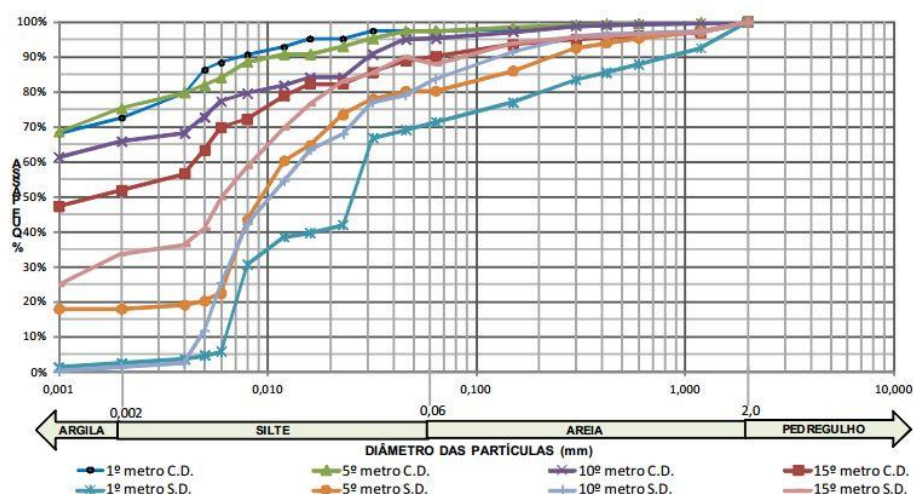
3.1.2 Caracterização da amostra de solo

De acordo com Zen e Almeida (2018), o solo de Cascavel – PR é formado a partir do intemperismo do basalto. Sua coloração escura se dá devido à presença de óxido de ferro, apresentando solos espessos com boa capacidade de retenção de água, aeração e baixa permeabilidade.

Situado em uma região de clima tropical, com elevadas temperaturas e índice pluviométrico, o solo laterítico argiloso da região ainda apresenta elevada porosidade, o que configura característica colapsível ao mesmo (VIEIRA *et al*, 2017). Para Zen e Almeida (2018), esses processos de intemperismo que ocorrem até grandes profundidades, originando camadas de solo muito espessas, acabam gerando comportamentos problemáticos para a engenharia geotécnica.

Através de análises de caracterização feitas por ensaios de granulometria conjunta estipulado pela NBR 7181 (2016), Zen e Almeida (2018) apresentaram as curvas granulométricas médias para o solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário FAG (CEEF), demonstrado na Figura 7.

Figura 7: Ensaio de granulometria do solo do CEEF



(Fonte: Zen e Almeida, 2018).

As curvas granulométricas indicadas na Figura 7, classificaram o solo do CEEF como Argila Siltosa, devido à porcentagem maior de argilas e siltes presentes no solo. Para Zen e Almeida (2018), essa alta porcentagem de finos no solo indica um solo mal graduado, visto que a ausência de material granular prejudica o atrito entre os grãos e consequentemente, sua resistência.

As características de resistência ao cisalhamento do solo do CEEF foram determinadas em laboratório, através de ensaios triaxiais realizados por Almeida e Oliveira (2018), que definiram os parâmetros de intercepto de coesão e ângulo de atrito do solo *in natura* até 14 metros de profundidade e estão representados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de intercepto de coesão e ângulo de atrito do solo do CEEF

Cota	Intercepto coesivo	Ângulo de atrito
1 m	2 kPa	14,2°
2 m	2 kPa	15,5°
3 m	13 kPa	17,4°
4 m	12 kPa	16,4°
5 m	22 kPa	14,1°
6 m	56 kPa	13,4°
7 m	17 kPa	19,2°
8 m	12 kPa	26,6°
9 m	31 kPa	26,2°
10 m	49 kPa	24,8°
11 m	24 kPa	30,4°
12 m	27 kPa	22,5°
13 m	64 kPa	19,7°
14 m	32 kPa	26,4°

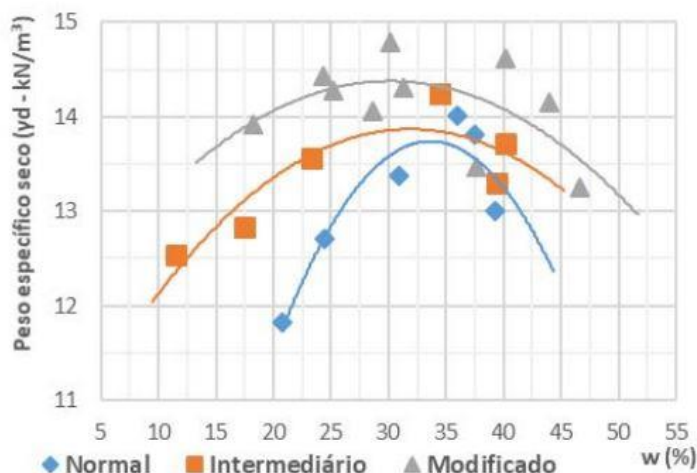
(Fonte: Almeida e Oliveira, 2018).

De acordo com Almeida e Oliveira (2018), o solo analisado apresenta aumento do ângulo de atrito, intercepto de coesão e consequentemente na sua resistência conforme a profundidade aumenta, e isso pode se justificar por diversas possibilidades. Entretanto, Zen e Almeida (2018) ainda apontam que os resultados obtidos demonstram uma capacidade de carga abaixo do esperado, tornando inviável o uso de fundações diretas.

O teor de umidade ótimo do solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário FAG, foi determinado por Zen e Almeida (2018) a partir do ensaio de Proctor, submetidos às três energias de compactação: Normal, Intermediária e Modificada.

A curva de compactação apresentada pelos autores na Figura 8 faz uma relação dos valores de teor de umidade (w) encontrados e o peso específico aparente seco (γ_d) determinados para cada uma das energias de compactação.

Figura 8: Curva de compactação para os 3 níveis de energia do solo do CEEF.



(Fonte: Zen e Almeida, 2018).

A Tabela 3 ainda apresenta resumidamente os valores de teor de umidade ótimo ($w_{ótimo}$) e peso específico aparente seco (γ_d) obtidos na curva de compactação.

Tabela 3: Teor de umidade ótimo dos 3 níveis de compactação do solo do CEEF.

Energia	$\gamma_{d\text{máx}}$ (kN/m³)	$w_{ótimo}$ (%)
Normal	14,0	40,0
Intermediária	13,9	32,5
Modificado	14,5	26,0

(Fonte: Zen e Almeida, 2018).

3.1.3 Borracha de Pneu

A borracha de pneu foi adquirida através de doação pela empresa FM Pneus, localizada na cidade de Toledo – PR, à aproximadamente 47 Km de Cascavel – PR. A empresa conta com máquinas de trituração para os pneus que não apresentam mais utilização e que precisam ser descartados.

A Resolução 258 (1999) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que as empresas fabricantes e importadoras de pneumáticos são obrigadas a coletar

e a dar um destino ambientalmente adequado aos pneus inservíveis. Portanto, de acordo com a FM Pneus, outra empresa com certificado de laudo ambiental, faz a coleta dos pneus triturados por eles para posterior destinação correta.

Como fazer o peneiramento do material recolhido se tornaria economicamente inviável para o uso em obras geotécnicas, para a realização dos ensaios, foi utilizada a borracha de pneu triturado conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9: Borracha de pneu inservível triturada.



(Fonte: Autor, 2018).

3.1.4 Dosagem e Preparação dos Corpos de Prova

Para a realização dos ensaios em laboratório, foi retirado uma quantidade de amostras deformadas de solo do primeiro metro do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário FAG, demonstrado na Figura 10. Após a coleta, o solo foi separado e colocado em uma estufa por 24 horas para a secagem do seu teor de umidade natural.

Esperado o tempo de secagem das amostras de solo, foi realizado o destorroamento dos grãos de solo necessários para que ocorresse a redução dos torrões maiores e tornasse a mistura solo-borracha mais homogênea.

Figura 10: 1º metro do Campo Experimental de Engenharia do Centro FAG.



(Fonte: Autor, 2018).

Na realização do ensaio triaxial, são utilizados quatro porcentagens de mistura solo-borracha, sendo estes teores de 5%, 10%, 15% e 20% de massa da borracha de pneu triturado e misturado às amostras de solo. Essa mistura foi realizada antes da moldagem dos corpos de prova, para que ocorresse a compatibilização com a umidade ótima necessária à realização do ensaio.

Foram separadas amostras de 1000g de solo seco cada, e retirada a quantidade referente à porcentagem de borracha de pneu triturada, com o objetivo de atingir 1000g para a mistura solo-borracha. A moldagem dos corpos de prova, foi realizada com o teor de umidade ótimo definido por Zen e Almeida (2018), e para isso, utilizou-se do soquete pisoteador Harvard Miniatura (Figura 11), que faz a compactação pelo método dinâmico de pisoteamento.

Segundo CONTENCO (2015), o manual do equipamento diz que para corpos de prova com diâmetro de 2" e altura de 11 cm, a compactação deve ser realizada em 7 camadas, com 50 golpes do pisoteador por camada, utilizando-se de uma sapata de $\frac{3}{4}$.

Feita a moldagem, os corpos de prova foram devidamente retirados através do equipamento de extrator (Figura 11) e armazenados em sacos plásticos para não perder o teor de umidade.

Figura 11: Equipamento Harvard Miniatura e extrator.



(Fonte: Autor, 2018).

3.1.5 Procedimento do Ensaio Triaxial

O ensaio de compressão triaxial das amostras de solo foi realizado no laboratório de Mecânica dos Solos, no Bloco de Engenharias, no Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz.

O modelo de ensaio escolhido é o de Adensado Não Drenado (CU), pois de acordo com Pinto (2006), este permite determinar a envoltória de resistência em um prazo menor que o ensaio Adensado Drenado (CD). Afim de se obter uma envoltória de resistência que tangencie adequadamente os círculos de Mohr, e fornecendo parâmetros confiáveis de intercepto de coesão e ângulo de atrito, realizou-se no mínimo três ensaios com cada uma das porcentagens de mistura solo-borracha.

Os equipamentos utilizados para o ensaio foram uma máquina de compressão triaxial, uma câmara de compressão, um laptop com *software* compatível com a máquina de compressão triaxial, uma membrana de látex, quatro anéis de borracha, duas pedras porosas, papel filtro, cabeçote, um béquer e uma balança para pesar as amostras, demonstrados na Figura 12.

Figura 12: Equipamento para ensaio triaxial.

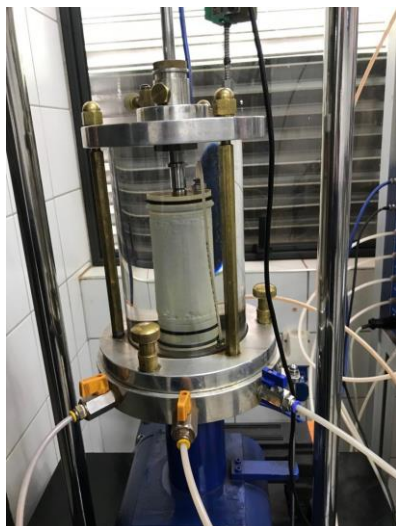


(Fonte: Autor, 2018).

Para iniciar o ensaio triaxial, o primeiro passo foi colocar o corpo de prova cilíndrico extraído, e com medidas de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, entre dois jogos de papel filtro circular (mesmo tamanho do corpo de prova) e pedras porosas, respectivamente. Para o isolamento do corpo de prova, e com o auxílio de um expansor, envolveu-se uma membrana de látex e a prendeu com quatro anéis de borracha, desde a base da câmara até a ponta do cabeçote.

Conectou-se a mangueira de pressão neutra na abertura do cabeçote e fechou-se a câmara para o preenchimento de água. No preenchimento de água, foi tomado o cuidado de manter o extravasor superior aberto para a saída completa de ar da câmara, e por fim, posicionou-se a câmara na prensa para a realização do ensaio, conforme demonstrado na Figura 13.

Figura 13: Amostra dentro da câmara de compressão triaxial.



(Fonte: Autor, 2018).

Para a realização do ensaio, ligou-se o compressor de ar, acionou o equipamento de controle de pressão e a prensa de compressão. Foi conferido se o laptop estava conectado ao equipamento corretamente, inicializou-se o *software* e realizou o teste de comunicação de todos os sensores e medidores do equipamento.

No cadastro dos ensaios, criou-se uma pasta para cada um dos diferentes teores de mistura solo-borracha, selecionando o tipo de ensaio e a condição de moldagem (massa específica seca (g/cm^3) e umidade ótima (%)). Em cada corpo de prova cadastrado, de acordo com seu teor, inseriu-se seus valores de altura, diâmetro e massa total.

No seguinte passo, saturou-se todas as mangueiras, zerou os leitores de pressão e as conectou em suas respectivas entradas da câmera triaxial, mantendo os registros fechados. Aplicou os valores de $0,20 \text{ kgf/cm}^2$ para pressão confinante e $0,10 \text{ kgf/cm}^2$ para a contrapressão inicial, abrindo todos os registros para a saída água na câmera. A fim de ocorrer o correto procedimento do ensaio, os valores de pressão neutra e volume deveriam ser iguais aos da contrapressão.

Para atingir os valores desejados de pressão confinante e contrapressão, aumentou-se os registros de pressões aos poucos e tomando o cuidado para a contrapressão não exceder o valor da confinante. Feito isso, esperou-se novamente os valores de volume e pressão neutra estabilizarem com o da contrapressão.

Com a finalidade de realizar o adensamento do corpo de prova, fechou-se os registros da câmera equivalentes à contrapressão, pressão neutra e volume, cadastrou os valores de pressão confinante e contrapressão desejados para o ensaio determinado, e clicou para iniciar o adensamento no *software* enquanto abria-se novamente o registro de volume da câmera. O objetivo de abrir o registro simultaneamente com o início do ensaio, é para que ocorresse maior precisão da medição de dados.

Após o encerramento do adensamento, fechou-se o registro de variação de volume, salvou-se os dados de variação coletados e abriu no *software*, a página para o início do cisalhamento do corpo de prova.

Para o início da ruptura, abriu-se na câmera os registros de pressão confinante, contrapressão e pressão neutra e manteve o registro de volume fechado. Verificou se os valores de pressão confinante e contrapressão estavam corretos e se o equipamento estava fazendo as leituras de deslocamento e carga axial, e zerou os dois últimos no *software*.

A velocidade escolhida para o rompimento do corpo de prova foi de $0,112 \text{ mm/min}$, pois é uma velocidade que mantém o ensaio de ruptura com uma média de ensaio adequado, sem perder a precisão dos dados. Iniciou-se então o ensaio de ruptura do corpo de prova, que

finalizava automaticamente quando o corpo de prova rompia ou chegava à 20% de deformação da sua altura original, apresentado na Figura 14. Após o fim do ensaio, analisou-se os dados obtidos.

Figura 14: Amostra deformada.



(Fonte: Autor, 2018).

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

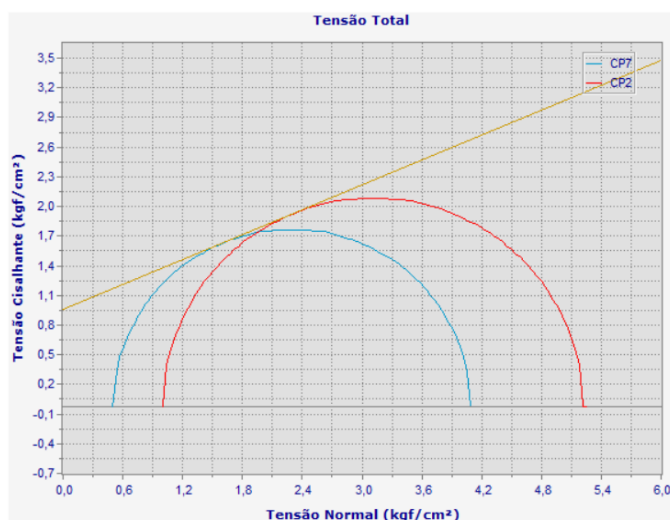
Neste capítulo serão relatados os resultados obtidos no ensaio de compressão triaxial, contendo na composição dos corpos de prova a adição de borracha triturada. Serão apresentados os resultados de intercepto de coesão, ângulo de atrito e módulo de deformabilidade.

Ainda, serão descritos também, a comparação dos resultados obtidos da mistura solo-borracha com o solo natural e compactado, realizado por Volpato (2015), com adição de cal, de cimento e com cinzas de casca de arroz realizados por Volpato (2015), Gomes (2016) e Beletini (2016), respectivamente.

4.1.1 Teor de 0% de borracha no solo

Os dados do solo compactado sem a adição do teor de borracha, foram definidos por Volpato (2015), e estão representados na Figuras 15. Os parâmetros de intercepto de coesão e ângulo de atrito entre as partículas foram de 0,98 Kgf/cm² e 22,76°, respectivamente. Nota-se que os círculos foram definidos com apenas dois ensaios, sendo as tensões confinantes utilizadas de 0,50 Kgf/cm² e 1,00 Kgf/cm².

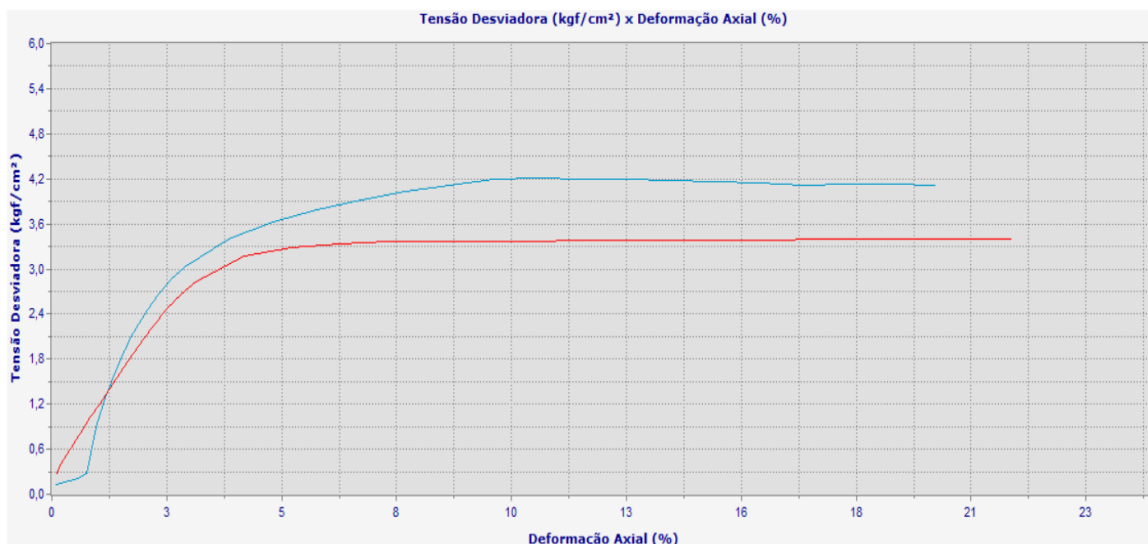
Figura 15: Envoltória de Mohr-Coulomb com 0% de adição de borracha



(Fonte: Volpato, 2015).

Na Figura 16, estão representadas também as curvas da tensão desviadora (Kgf/cm^2) pela deformação axial (%) dos dois corpos de prova ensaiados. A partir dela, é que se determina os parâmetros de módulo de deformabilidade do solo.

Figura 16: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 0% de borracha



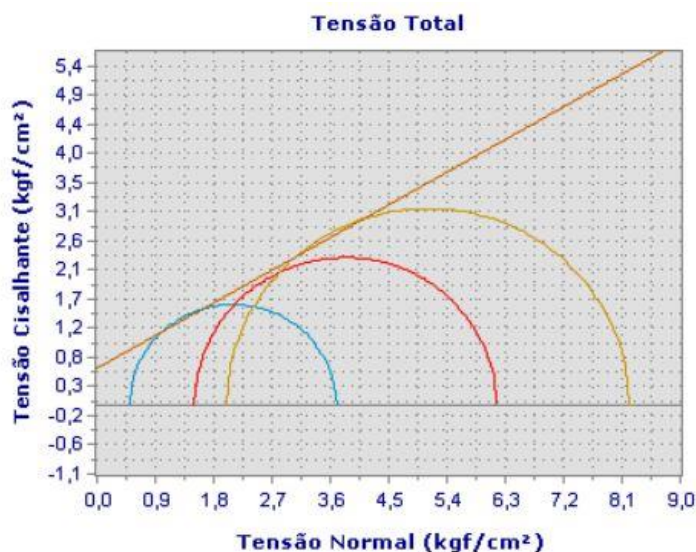
(Fonte: Volpato, 2015).

4.1.2 Teor de 5% de borracha no solo

Para a determinação dos valores de intercepto de coesão e ângulo de atrito de 5% da adição de borracha triturada no solo, foram necessários 7 ensaios, no entanto apenas 3 são considerados. A razão disso é que alguns dos ensaios apresentaram incoerência entre os círculos obtidos, não definindo uma envoltória de resistência nítida.

Os dados de tensão confinante utilizados, foram de $0,50 \text{ kgf/cm}^2$, $1,50 \text{ kgf/cm}^2$ e $2,00 \text{ kgf/cm}^2$ e a de contra pressão de $1,00 \text{ kgf/cm}^2$, conforme demonstrado na Figura 17. Os valores obtidos de ângulo de atrito e intercepto de coesão foram de $29,81^\circ$ e $0,60 \text{ kgf/cm}^2$, respectivamente.

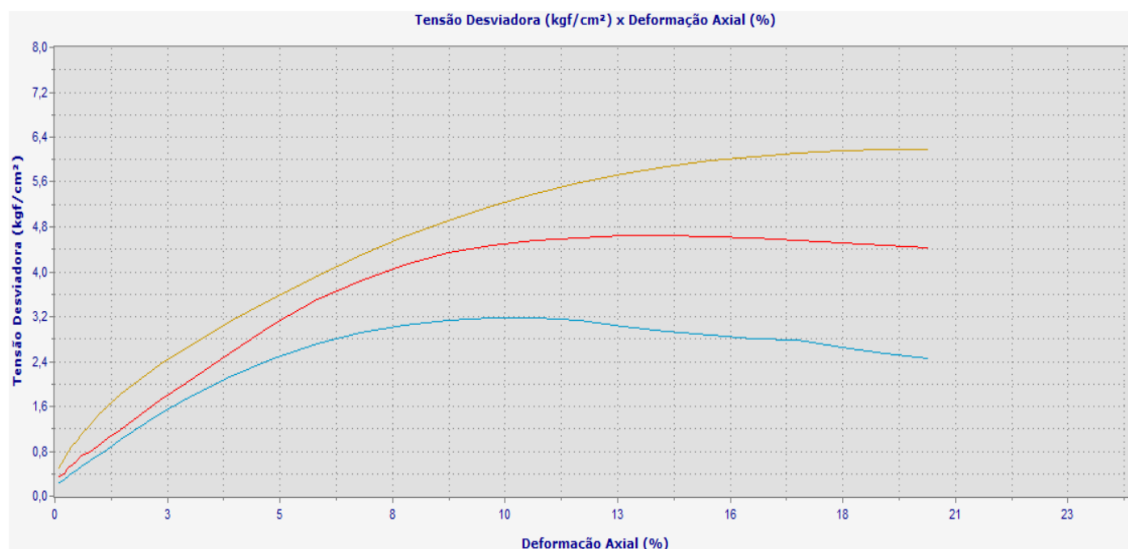
Figura 17: Envoltória de Mohr-Coulomb com 5% de adição de borracha



(Fonte: Autor, 2018).

Ainda, na Figura 18, encontram-se as curvas das tensões desviadoras, pela deformabilidade de até 20% para cada ensaio.

Figura 18: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 5% de borracha



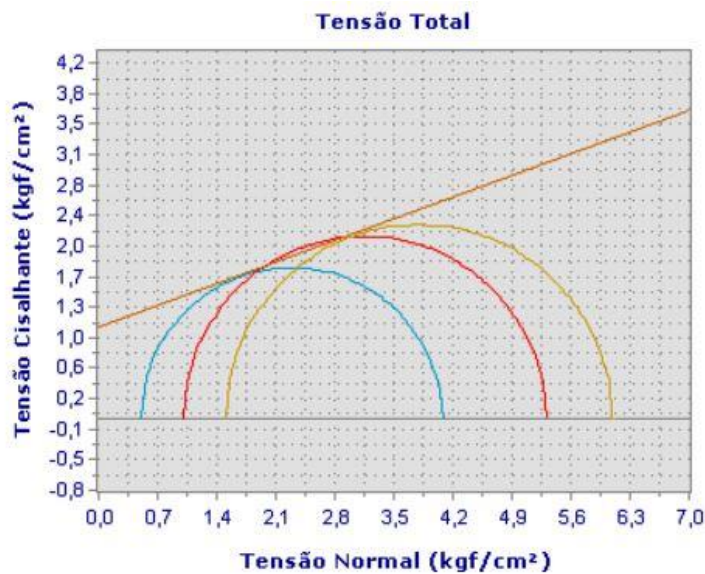
(Fonte: Autor, 2018).

4.1.3 Teor de 10% de borracha no solo

Na determinação dos valores de intercepto de coesão e ângulo de atrito de 10% da adição de borracha triturada no solo, foram realizados 3 ensaios de compressão triaxial, que formaram a envoltória apresentada segundo a bibliografia.

Os dados de tensão confinante utilizados, foram de 0,50 kgf/cm², 1,00 kgf/cm² e 1,50 kgf/cm² e a de contra pressão de 1,00 kgf/cm², conforme apresentado na Figura 19. Os valores encontrados de ângulo de atrito e intercepto de coesão foram de 19,99° e 1,09 kgf/cm², respectivamente.

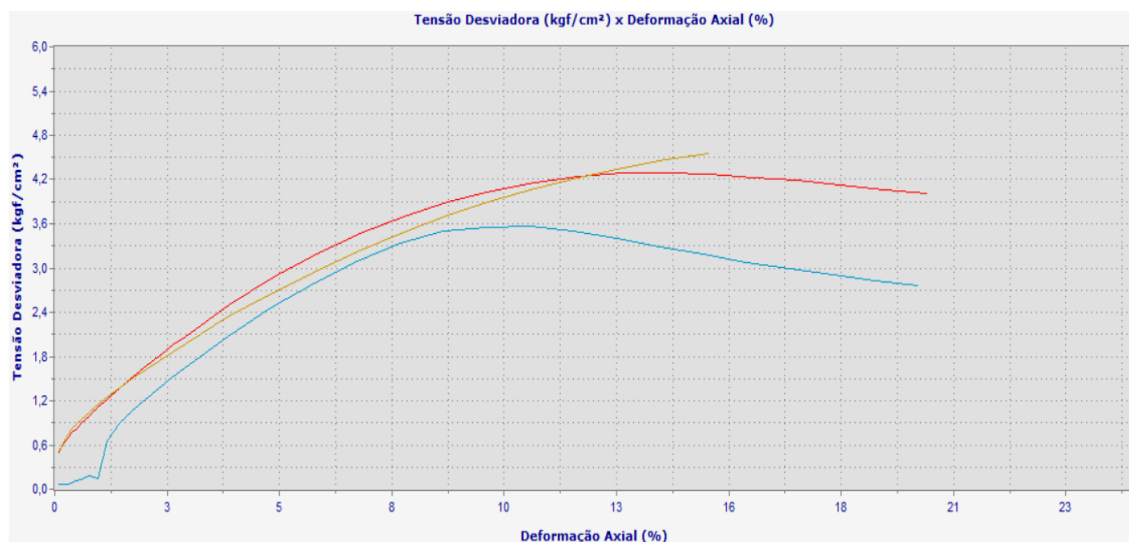
Figura 19: Envoltória de Mohr-Coulomb com 10% de adição de borracha



(Fonte: Autor, 2018).

Na Figura 20, estão relacionados os dados da tensão desviadora (Kgf/cm²) pela deformação axial (%), que determinam o módulo de deformabilidade de cada um dos três corpos de prova representados.

Figura 20: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 10% de borracha



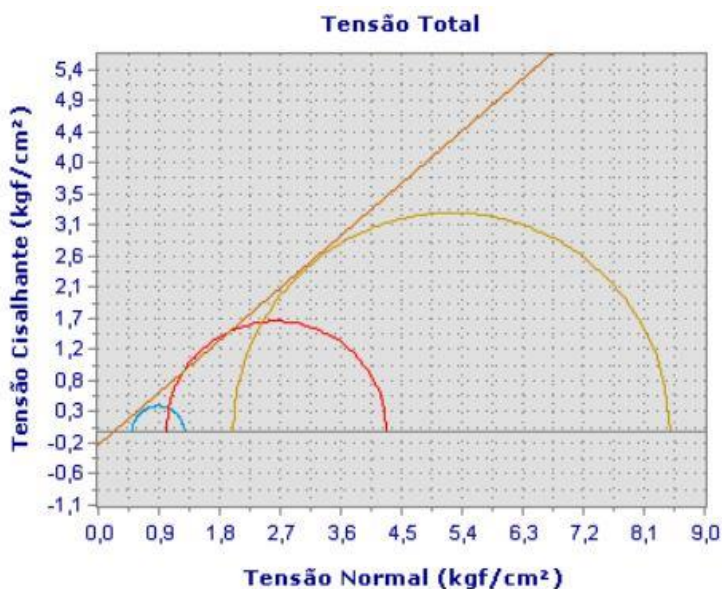
(Fonte: Autor, 2018).

4.1.4 Teor de 15% de borracha no solo

Os valores de intercepto de coesão e ângulo de atrito de 15% da adição de borracha triturada no solo, foram obtidos com 4 ensaios de compressão triaxial. O descarte de um dos ensaios realizados para essa porcentagem, aconteceu devido à uma queda de energia que desligou a máquina de compressão triaxial e anulou o ensaio.

Os dados de tensão confinante para os ensaios utilizados, foram de $0,50 \text{ kgf/cm}^2$, $1,00 \text{ kgf/cm}^2$ e $2,00 \text{ kgf/cm}^2$ e a de contra pressão de $1,00 \text{ kgf/cm}^2$, conforme verificado na Figura 21. Os valores obtidos com os 3 ensaios utilizados para a envoltória de Mohr, foram de $40,74^\circ$ de ângulo de atrito e $0,20 \text{ kgf/cm}^2$ de intercepto de coesão.

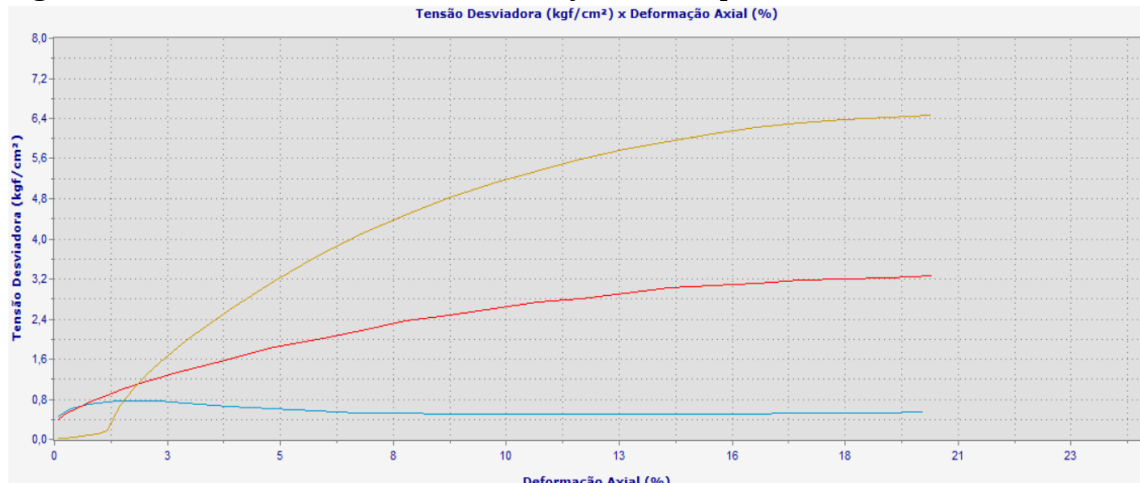
Figura 21: Envoltória de Mohr-Coulomb com 15% de adição de borracha



(Fonte: Autor, 2018).

O gráfico representado na Figura 22, ainda mostra as curvas obtidas com a tensão desviadora e a deformação axial de cada corpo de prova. É possível observar através dos círculos e das curvas em azul e amarelo, uma distância notável entre o primeiro e o terceiro ensaio para esta porcentagem, e podendo ser justificada por diversas razões.

Figura 22: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 15% de borracha



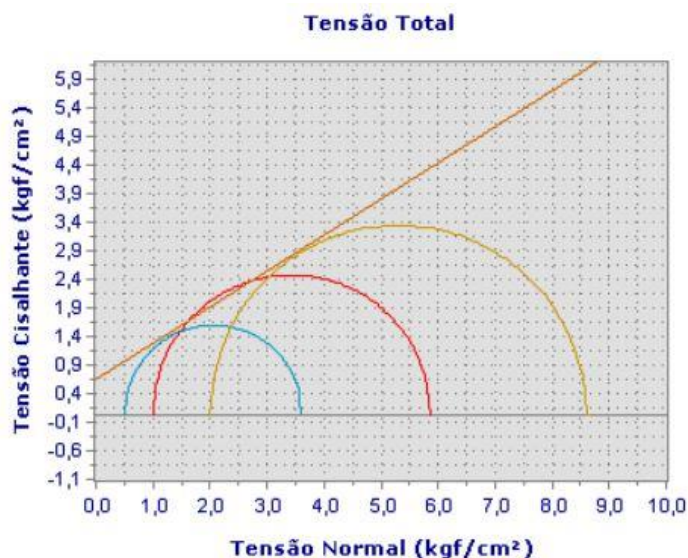
(Fonte: Autor, 2018).

4.1.5 Teor de 20% de borracha no solo

Para a determinação dos valores de intercepto de coesão e ângulo de atrito de 20% da adição de borracha triturada no solo, foram necessários 5 ensaios de compressão triaxial, sendo considerados os 3 ensaios que apresentaram configuração correta à bibliografia apresentada.

Os dados de tensão confinante obtidos, foram de 0,50 kgf/cm², 1,00 kgf/cm² e 2,00 kgf/cm² e a de contra pressão de 1,00 kgf/cm², conforme demonstrado na Figura 23. Os valores encontrados de ângulo de atrito e intercepto de coesão foram de 32,24° e 0,60 kgf/cm², respectivamente.

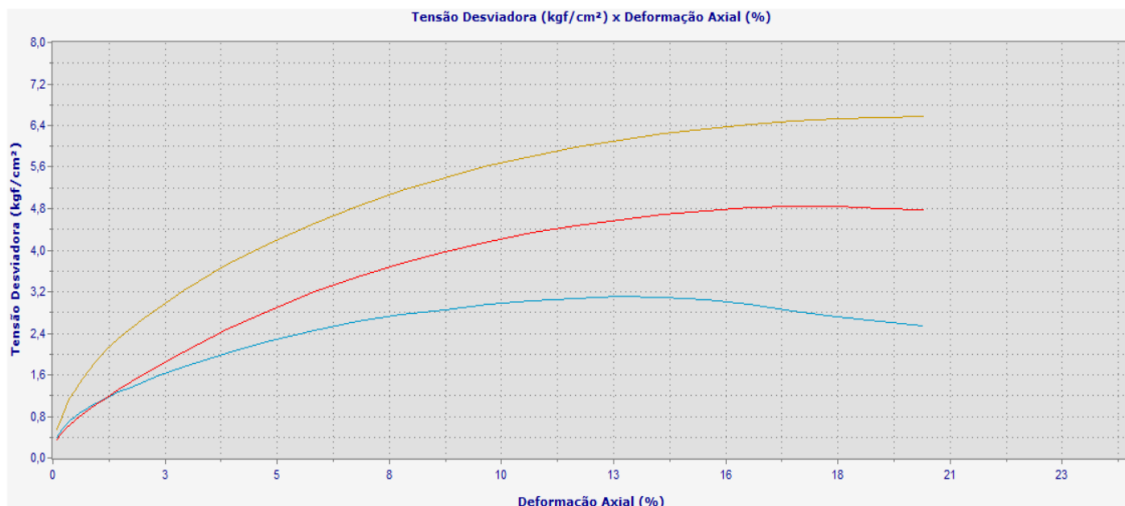
Figura 23: Envoltória de Mohr-Coulomb com 20% de adição de borracha



(Fonte: Autor, 2018).

A curva da tensão desviadora pela deformação axial do teor de 20% de borracha no solo, está representada na Figura 24.

Figura 24: Parâmetros de tensão x deformação do solo para 20% de borracha

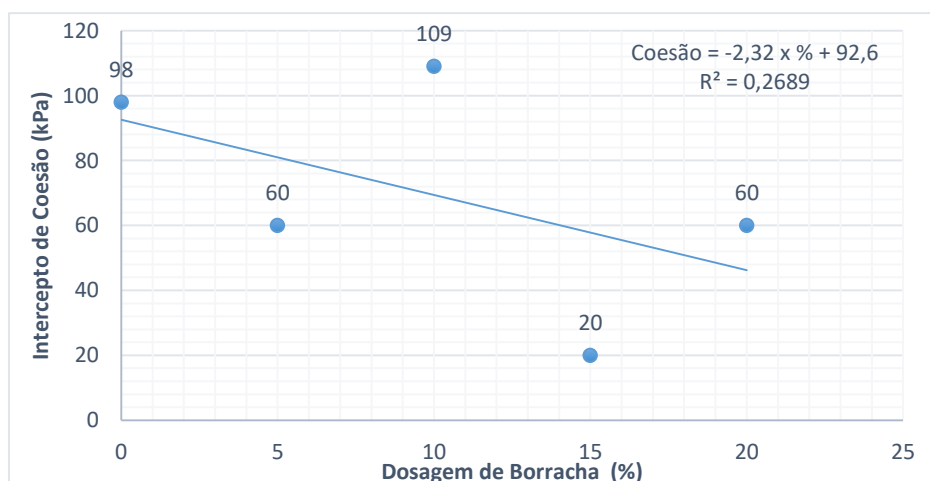


(Fonte: Autor, 2018).

4.1.6 Comparativo dos dados de coesão e ângulo de atrito da mistura solo-borracha

Analizando primeiro os parâmetros de intercepto de coesão da mistura solo-borracha, apresentada na Figura 25, com o valor de intercepto de coesão de 0,98 kgf/cm² descrito por Volpato (2015) para a mesma camada de solo, observa-se que a borracha interferiu positivamente para 15% do teor de borracha no solo, gerando um crescimento nos valores de coesão encontrados, e negativamente para as outras porcentagens.

Figura 25: Parâmetros de intercepto de coesão das misturas solo-borracha



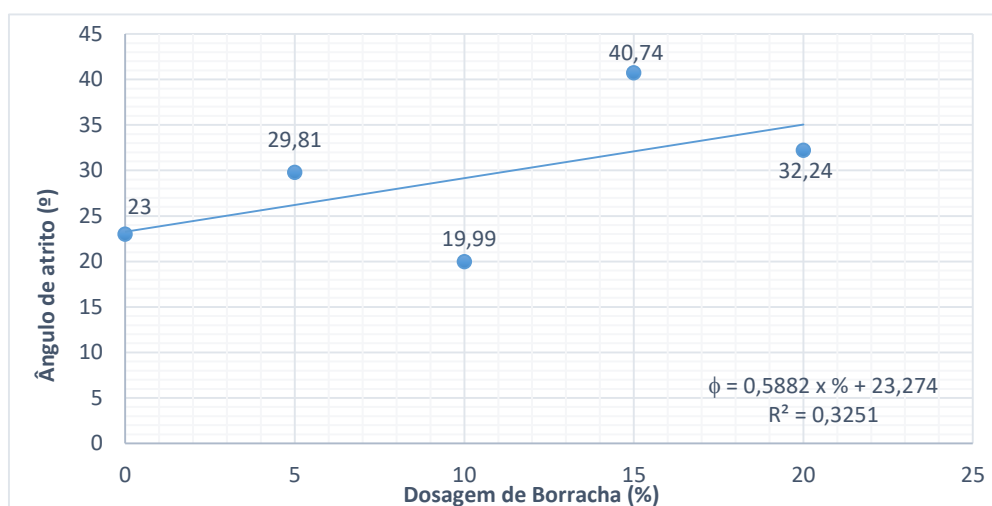
(Fonte: Autor, 2018).

Com o gráfico apresentado também é possível verificar que a melhor coesão para a mistura é de $1,09 \text{ kgf/cm}^2$, encontrada com 10% de borracha no solo, e que em 20% de borracha, ela volta para o mesmo intercepto de coesão da mistura com 5% de borracha.

Nos valores obtidos de ângulo de atrito para as misturas de solo-borracha demonstrados na Figura 26, e comparados com o ângulo de $22,76^\circ$ para o solo mostrado por Volpato (2015), pode-se notar que houve um crescimento com a adição de borracha no atrito entre as partículas de solo para a maioria das porcentagens.

O menor ângulo de atrito foi de $19,99^\circ$ para 10% de borracha no solo, sendo menor que o ângulo de atrito encontrado para o solo natural. Esse crescimento e depois decréscimo dos dados encontrados para os teores de borracha pode se justificar por diversas possibilidades, sendo uma delas algum defeito na moldagem dos corpos de prova, visto que houve a ausência de ensaio de peneiramento para a caracterização da granulometria do pneu iservível.

Figura 26: Parâmetros de ângulo de atrito das misturas solo-borracha



(Fonte: Autor, 2018).

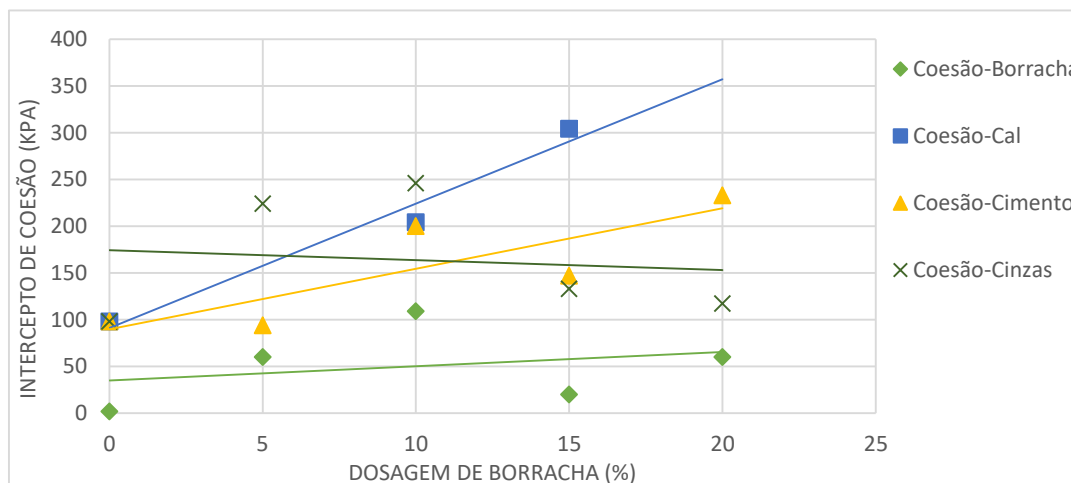
A equação da reta apresentada para os parâmetros de intercepto coesivo e ângulo de atrito representada nos gráficos da Figura 25 e 26, utiliza os valores de porcentagem da borracha em unidade de massa.

4.1.7 Comparativo dos dados de coesão e ângulo de atrito das misturas solo-aditivos

Comparando-se ainda, os valores obtidos de intercepto de coesão e ângulo de atrito para a mistura solo-borracha com a pesquisa realizada por Beletini (2016), que utilizou cinzas de

casca de arroz, a de Gomes (2016), que usou cimento, e a de Volpato (2015), que adicionou cal hidratada, todas para a mesma camada de solo e com as mesmas porcentagens, montou-se os gráficos de intercepto de coesão (Figura 27) e ângulo de atrito (Figura 28).

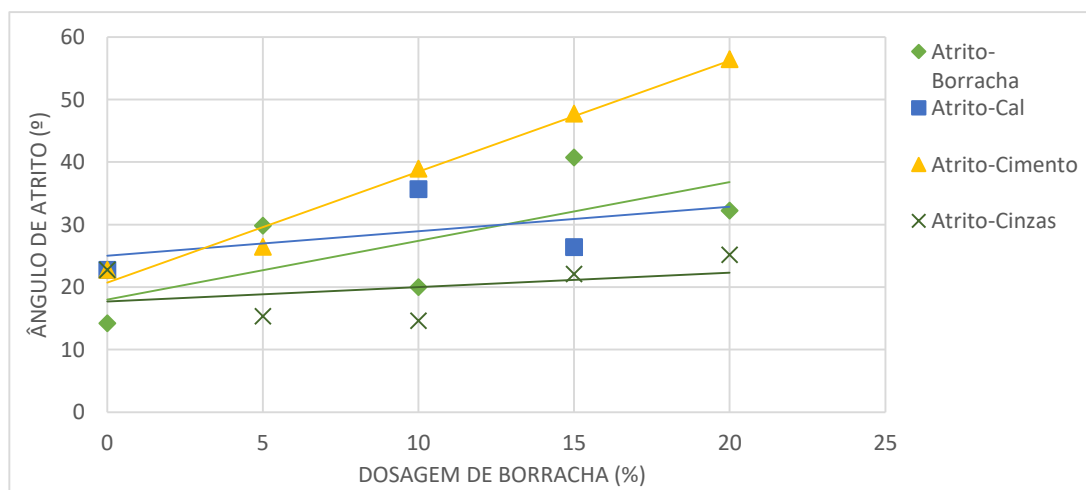
Figura 27: Parâmetros de intercepto de coesão das misturas solo-aditivos



(Fonte: Autor, 2018).

Nota-se a partir do gráfico de dispersão mostrado na Figura 27, que todos os aditivos apresentaram um ligeiro crescimento de intercepto coesivo quando analisados com o solo *in natura*. No entanto, se comparados com a mistura solo-borracha, os outros aditivos apresentaram maior coesão, sendo a cal hidratada a maior coesão encontrada, com $3,04 \text{ kgf/cm}^2$ para 15% de dosagem. As adições de 5% e 20% de dosagem de cal, não foram analisadas pelo autor.

Figura 28: Parâmetros de ângulo de atrito das misturas solo-aditivos



(Fonte: Autor, 2018).

Observa-se que os ângulos também aumentaram quando comparados com o solo sem nenhum aditivo. Porém, a mistura que melhor apresentou crescimento foi a de 20% de dosagem da mistura solo-cimento.

Os ângulos de atrito encontrados para a mistura solo-borracha também foram mais significativos, apresentando melhor resultado que os outros aditivos em 5% de dosagem. Em comparação com a cal hidratada, seu ângulo apresentou-se menor em 10% e maior em 15%. Já para as misturas de solo e cinzas de casca de arroz, apontados por Beletini (2016), a mistura de solo com a borracha triturada, identificou melhor ângulo de atrito para todas as porcentagens analisadas.

Os relatórios completos obtidos no *software* para os ensaios de compressão triaxial, encontram-se em anexo, com todos os valores de intercepto de coesão, ângulo de atrito, tensões totais e tensões efetivas. No entanto, só foram analisados neste capítulo os valores para as tensões totais, visto que as tensões efetivas não apresentaram um resultado específico devido aos valores de pressão neutra não terem sido medidos corretamente.

4.1.8 Influência da borracha no módulo de deformabilidade do solo

Analizando-se ainda os gráficos de tensão desviadora (Kg/cm^2) por deformação axial (%) para cada porcentagem de borracha misturada ao solo, traçou-se um triângulo retângulo e dividiu os valores da tensão pela deformação para cada um dos corpos de prova ensaiados, obtendo-se o módulo de deformabilidade do solo.

Os valores obtidos para os dois corpos de prova ensaiados com 0% de borracha no solo compactado, foram de 6.000 Kpa e 7.875 Kpa. Para os ensaios com 5%, 10%, 15% e 20% de massa total da borracha misturada ao solo, foram utilizados 3 ensaios, e os valores encontrados para todos os módulos de deformabilidade do solo estão representados na Tabela 4.

Tabela 4: Módulo de deformabilidade das porcentagens de mistura solo-borracha.

Módulo de Deformabilidade do Solo					
TEOR	0%	5%	10%	15%	20%
CP 1	6000	3846	4500	2667	5000
CP 2	7875	4000	4750	4000	5333
CP 3	NÃO POSSUI	6333	6500	8571	8181
MÉDIA	6937,5	4726,3	5250	5079,3	6171,3

(Fonte: Autor, 2018).

Também foi possível analisar que com a média apresentada para cada uma das porcentagens de borracha misturada ao solo compactado, seus valores são menores que o módulo apresentado para o solo compactado sem adição de borracha, mas que com exceção de 10% e 15% de borracha que estão decrescentes, os valores vão aumentando gradualmente entre 5% e 20% da mistura solo-borracha.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar a influência da borracha de pneu triturado no solo argiloso e laterítico, típico da região de Cascavel - PR, e determinar se a utilização deste material é benéfico para a área da construção civil.

As porcentagens utilizadas para a realização dos ensaios foram de 5%, 10%, 15% e 20% de borracha no solo, e o solo utilizado foi o do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz. A utilização destes dados teve o objetivo de facilitar a comparação de informações com outros estudos de aditivos já realizados anteriormente e mencionados neste trabalho.

Os ensaios realizados em laboratório para a obtenção dos dados, foram os ensaios de compactação de solo com os teores de borracha para a moldagem dos corpos de prova e o de compressão triaxial, do tipo adensado e não drenado, para a obtenção das tensões de cisalhamento das misturas.

Através dos resultados obtidos de intercepto de coesão e ângulo de atrito entre as partículas, pode-se afirmar que a adição deste material ao solo gera um crescimento positivo nos parâmetros de resistência ao cisalhamento em relação ao solo *in natura*. Foi determinado também, que a porcentagem que melhor apresentou resultados de coesão foi de 10%, e a que apresentou resultados mais baixos, foi de 15%. No entanto, os valores de 15% ainda foram considerados satisfatórios se comparados com o solo natural, ou seja, sem a adição de aditivos.

Ainda, é interessante ponderar que a realização dos ensaios de compressão triaxial foram realizados com a mistura de borracha sem especificação de granulometria, e que a não realização deste, pode interferir parcialmente nos dados de comparação entre os teores analisados.

Ao analisar também a mistura solo-borracha, nota-se que a mesma não apresentou os melhores resultados de coesão e ângulo de atrito se comparados com os outros aditivos mencionados na pesquisa, que utilizaram a adição de cimento, cal hidratada e cinzas de cascas de arroz. Porém, ainda é interessante a utilização deste material em obras geotécnicas, visto que é um material econômico, que apresenta aderência com o solo e ainda, gera uma alternativa para o descarte de pneus inservíveis.

Por último, analisando a influência do módulo de deformabilidade dos corpos de prova ensaiados, nota-se que em geral, eles apresentam valores menores que o solo compactado com 0% de adição de borracha, indicando que o material de borracha proporciona mais elasticidade ao solo, e permitindo que ele deforme mais sem ocorrer ruptura. Esse tipo de resultado pode ser um problema para fundações, mas interessante para outras aplicações geotécnicas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação**. Rio de Janeiro, 2016.

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

AZEVEDO, A. L. C. **Estabilização de solos com adição de cal. Um estudo a respeito da reversibilidade das reações que acontecem no solo após a adição de cal**. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP: Ouro Preto, 2010.

BUENO, B. S.; VILAR O. M. **Mecânica dos solos**. vol 1, São Carlos: EESC – USP, 1979.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. 6. ed. Volume 1. Rio de Janeiro, 1988.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tomografia Computadorizada Aplicada ao Estudo de Solos Colapsíveis**. São Carlos, 1997.

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

VOLPATO, A. L. **Determinação da Resistência ao Cisalhamento de um Solo Argiloso e laterítico característico da região de Cascavel/PR com adição de Cal Hidratada**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Univertário Assis Gurgacz, Cascavel/PR.

BELETINI, M. G. **Determinação da Resistência ao Cisalhamento de um Solo Argiloso e laterítico com adição de Cinza de Casca de Arroz**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel/PR.

GOMES, L. S. **Determinação da Resistência ao Cisalhamento de um Solo Argiloso característico da região de Cascavel/PR com Adição de Cimento**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel/PR.

WELTER, G. L. **Análise da Influência de Pneu Triturado no Índice de Suporte Califórnia (ISC) de Solo Superficial Laterítico de Cascavel/PR**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel/PR.

CONAMA (1999). **Resolução nº 258/1999**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=258>>. Acesso em: 19 de março de 2018.

MEDEIROS, L. V. **Reuso de Pneus em Geotecnia**. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2000.

RISSOLI, A. L. C.; ARAÚJO, G. L. S. **Utilização de Resíduos de Pneus em Obras Geotécnicas**. Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

CHRUSCIAK, M. R. **Análise de Melhorias de Solo utilizando Fragmentos de Borracha**. Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

ALMEIDA, M. A.; OLIVEIRA, R. M. M. **Estimativa do Ângulo de Atrito e Coesão através de Índices de Resistência obtidos pela Sondagem SPT em Solo Laterítico e Colapsível característico de Cascavel/PR**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Salvador/BA. 2018.

ESPINDOLA, C. R.; DANIEL, L. A. **Laterita e Solos Lateríticos no Brasil**. Boletim Técnico da FATEC/SP. São Paulo, 2008.

ROSS, A.; BECKER, E. L. S. **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS, 2012.

VIEIRA, M. K.; RADOLL, J.; ALMEIDA, M. A. **Análise da Aplicação de Fundações Rasas a partir de Resultados de Provas de Carga em Solo de Cascavel**. GEOCENTRO, Goiânia/GO, Brasil. 2017.

SENEZ, P. C. **Estudo do Comportamento de Solos Reforçados para Aplicação em Obras Geotécnicas**. Avaliação do Comportamento de Solos Reforçados com Borracha Moída de Pneus Inservíveis para Aplicação em Obra Geotécnicas. (s.d.)

ZEN, B. A. B.; ALMEIDA, M. A. **Implantação e Caracterização Geotécnica do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel/Pr**. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Salvador/BA. 2018.



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

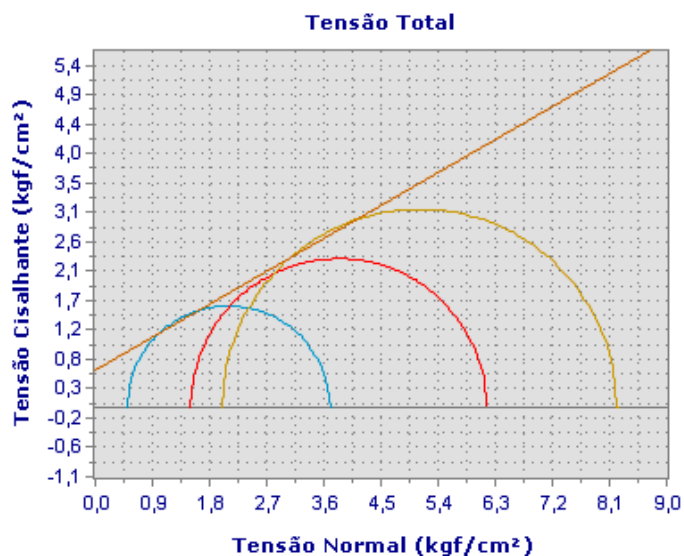
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: 5%
Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
Data do Ensaio: 23/08/2018

Informações dos Corpos de Prova

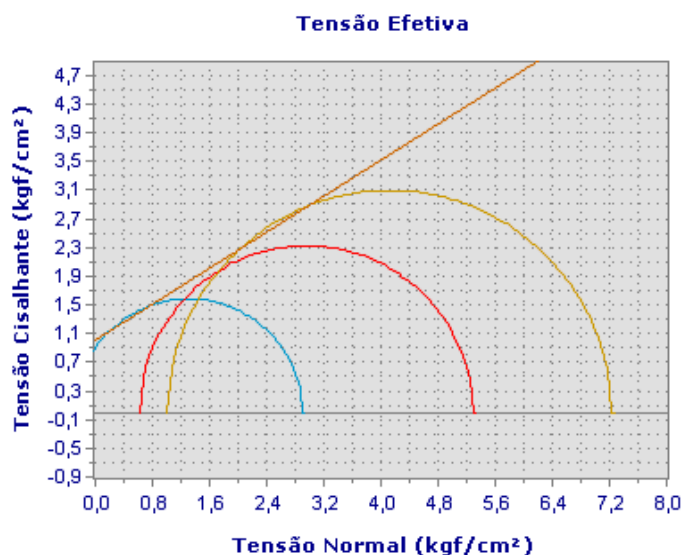
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	2,91	3,70	0,50	-0,29
4	1,50	1,00	5,29	6,17	1,50	0,62
7	2,00	1,00	7,23	8,22	2,00	1,01

Gráficos dos Resultados



Tensão Total

Ângulo Atrito: 29,81°
Coesão: 0,60(kgf/cm²)



Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 32,10°
Coesão: 1,02(kgf/cm²)



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

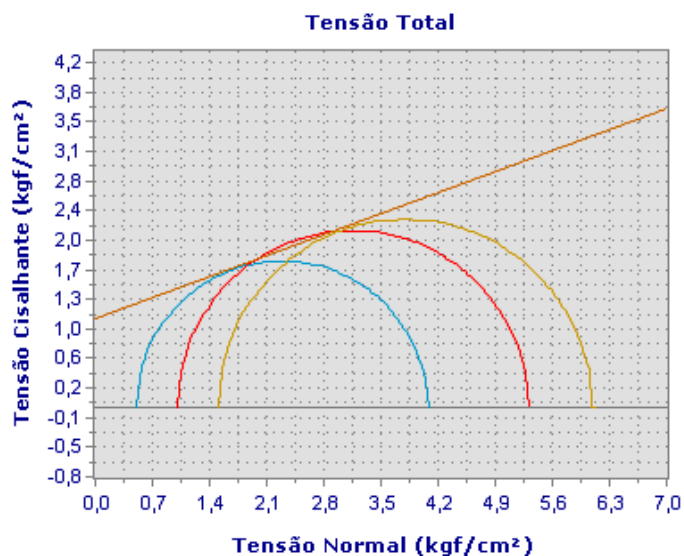
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: 10%
Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
Data do Ensaio: 24/09/2018

Informações dos Corpos de Prova

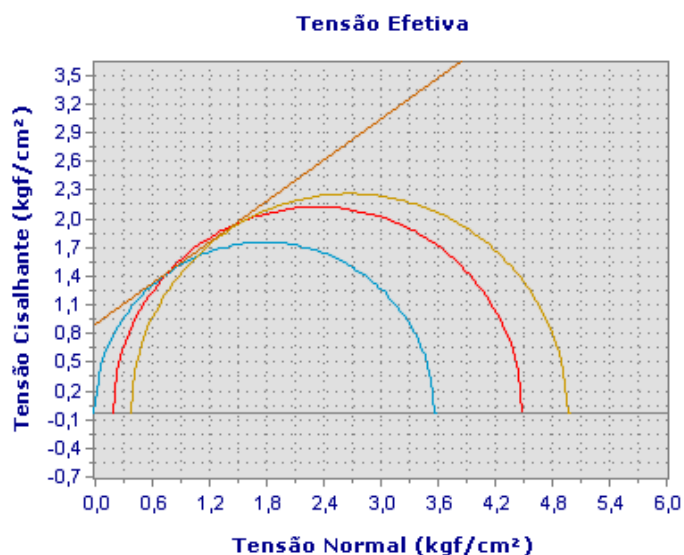
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	3,57	4,08	0,50	-0,01
2	1,00	1,00	4,49	5,31	1,00	0,18
3	1,50	1,00	4,96	6,09	1,50	0,37

Gráficos dos Resultados



Tensão Total

Ângulo Atrito: 19,99°
Coesão: 1,09(kgf/cm²)



Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 35,54°
Coesão: 0,94(kgf/cm²)



Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

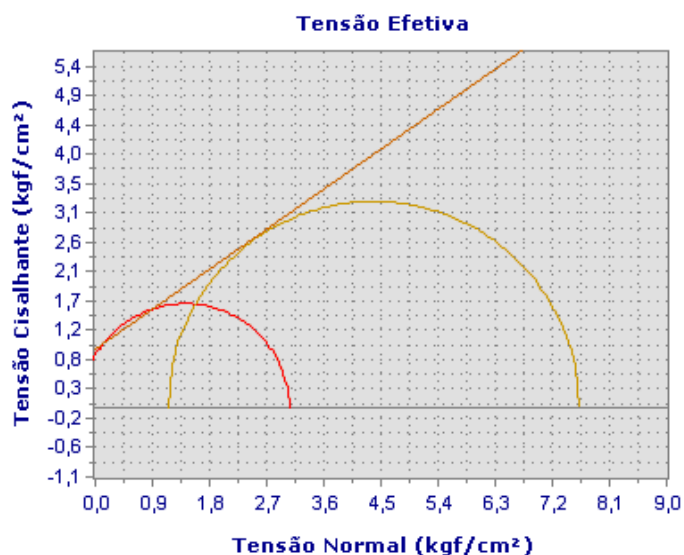
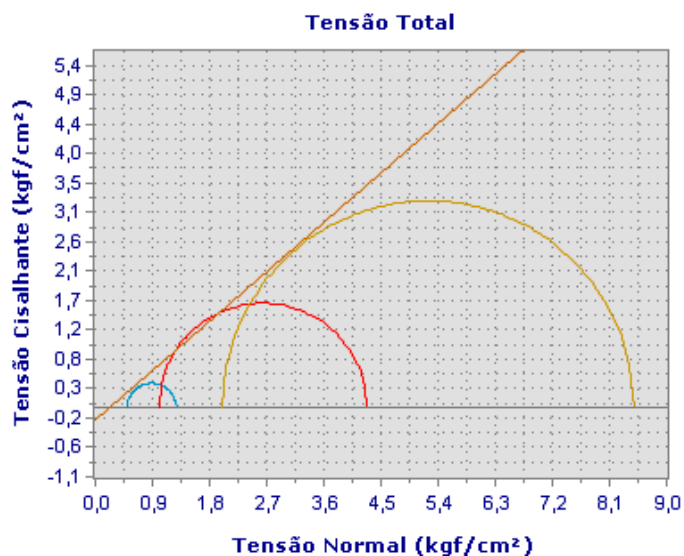
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: 15%
Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
Data do Ensaio: 08/10/2018

Informações dos Corpos de Prova

Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	-0,20	1,28	0,50	-0,98
2	1,00	1,00	3,06	4,28	1,00	-0,22
4	2,00	1,00	7,63	8,49	2,00	1,14

Gráficos dos Resultados





Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra

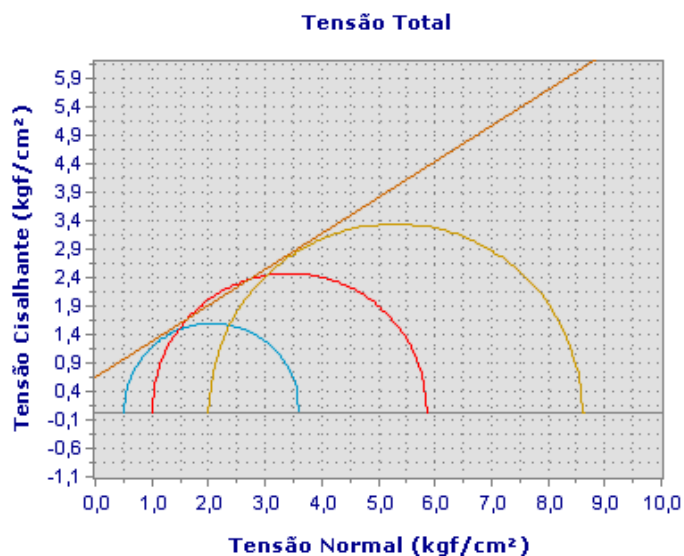
Dados Cadastrais da Amostra

Nome da Amostra: 20%
Condição Moldagem: Compactação Dinâmica
Tipo Ensaio: Ensaio rápido, adensado, não drenado, com medida de pressão neutra
Data do Ensaio: 17/10/2018

Informações dos Corpos de Prova

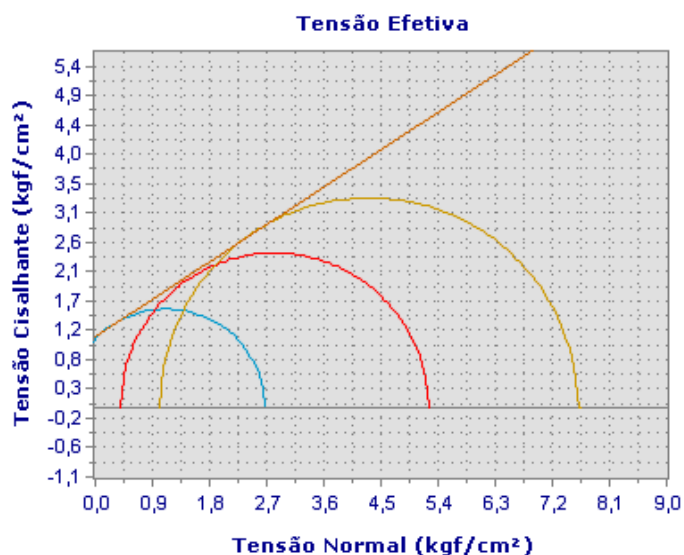
Corpo Prova	Confinante (kgf/cm ²)	Contra (kgf/cm ²)	σ_1' (kgf/cm ²)	σ_1 (kgf/cm ²)	σ_3 (kgf/cm ²)	σ_3' (kgf/cm ²)
1	0,50	1,00	2,67	3,61	0,50	-0,44
2	1,00	1,00	5,26	5,87	1,00	0,39
5	2,00	1,00	7,61	8,60	2,00	1,01

Gráficos dos Resultados



Tensão Total

Ângulo Atrito: 32,24°
Coesão: 0,60(kgf/cm²)



Tensão Efetiva

Ângulo Atrito: 33,05°
Coesão: 1,11(kgf/cm²)