



0

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CARLISE PATRÍCIA PIVETTA

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM
SOLO COMPACTADO

CERRO LARGO – RS

2017

CARLISE PATRÍCIA PIVETTA

**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM SOLO
COMPACTADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador Prof. Dr. Márcio Antônio Vendruscolo

CERRO LARGO - RS

2017

PROGRAD/DBIB - Divisão de Bibliotecas

Pivetta, Carlise Patrícia
Utilização de resíduo de construção e demolição em
solo compactado/ Carlise Patrícia Pivetta. -- 2017.
53 f.:il.

Orientador: Márcio Antônio Vendruscolo.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Engenharia Ambiental e sanitária , Cerro Largo, RS,
2017.

1. Compactação. 2. Reciclagem. 3. Aterro. 4. Resíduo
de construção e demolição. I. Vendruscolo, Márcio
Antônio, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

CARLISE PATRÍCIA PIVETTA

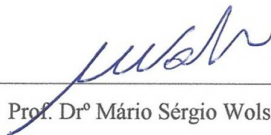
**UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM SOLO
COMPACTADO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária, aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.


Cerro Largo, 08 de Dezembro de 2017.

Este trabalho de foi defendido e aprovado pela banca em:

08/12/2017


Prof. Drº Mário Sérgio Wolski – UFFS

Membro da Banca


Prof. Msc. Ewerthon Cezar Schiavo Bernardi – UFFS

Membro da Banca


Prof. Drº Márcio Antônio Vendruscolo

Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor orientador Márcio Antônio Vendruscolo, pela sua orientação e incentivo na elaboração deste trabalho de conclusão, pela disponibilidade, apoio e amizade.

Ao professor coordenador do curso Bruno München Wenzel, pela atenção, auxílio e ensinamentos ao longo da graduação.

A todos os professores do curso de Engenharia Ambiental, por serem profissionais inspiradores que contribuíram com minha formação acadêmica e pessoal.

A Universidade Federal da Fronteira Sul pela oportunidade de ter acesso a um ensino de qualidade.

As minhas amigas Nadine, Camila, Franciele, Andressa e Dalila, por estarem ao meu lado em toda esta trajetória, auxiliando em todos os momentos.

Aos colegas e amigos do curso, pelas alegrias e dificuldades compartilhadas durante esse período de graduação.

A minha família e namorado, que sempre estiveram presentes, me encorajando e me fortalecendo na busca dos meus objetivos.

Aos meus pais Eri e Maria, por sempre acreditarem na realização deste sonho, me dando suporte, tranquilidade e amor.

Aos meus supervisores de estágio Juliana, Cláudio e Rose pelo incentivo, apoio e prestatividade em todos os momentos.

As pessoas que me acolheram durante o período de estágio e finalização do trabalho de conclusão de curso, sempre dando todo apoio e ajuda necessária.

A RESICON e seus responsáveis por terem cedido o material para que esta pesquisa pudesse ser realizada.

Obrigada a todos aqueles que contribuíram e torceram por mim e a Deus por permitir que eu chegasse até aqui.

RESUMO

A indústria da construção civil é um grande consumidor de recursos naturais ao mesmo tempo em que é também responsável pela geração de uma enorme quantidade de resíduos sólidos. Isto é devido principalmente a perdas que ocorrem no processo de construção e a falta de reutilização e reciclagem do material gerado no processo de demolição. De acordo com a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, os geradores de resíduos de construção civil deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. A pesquisa teve como objetivo combinar o resíduo de construção e demolição com um solo argiloso de forma a constituir um novo material que possa ser utilizado como base de fundações superficiais ou como aterros para a construção de estradas. Primeiramente foram executados ensaios de caracterização do solo e do resíduo e ensaios de compactação com cada material. Amostras de 5,0 x 5,0 x 2,0 cm de solo com adição de 0%, 25%, 50% e 75% de resíduo de construção e demolição triturados foram moldadas na umidade ótima e densidade máxima para a execução dos ensaios de cisalhamento direto. A partir dos ensaios de cisalhamento direto foi possível determinar os parâmetros de resistência e conhecer o comportamento tensão *versus* deslocamento horizontal e deslocamento vertical *versus* deslocamento horizontal de cada material. Por meio dos ensaios de compactação, observou-se que a umidade ótima diminuiu e o peso específico aumentou com a adição do resíduo de construção e demolição (RCD). Os parâmetros de resistência obtidos por intermédio dos ensaios de cisalhamento direto sofreram alterações com a adição do resíduo, onde a coesão diminuiu e o ângulo de atrito aumentou. Contatou-se também que a tensão de cisalhamento aumentou com a adição de 50% e 75% de resíduo para a tensão normal de 400 kPa. Por outro lado, para as demais tensões normais e para os diferentes teores de resíduo não houve alterações significativas nas tensões cisalhantes. Quanto à compressão simples, esta demonstrou que a mistura solo-resíduo é eficiente para misturas de 25% e 50% se comparadas ao solo sem adição de resíduo.

Palavras-Chave: Compactação. Reciclagem. Aterro. Resíduo de Construção e Demolição.

ABSTRACT

The construction industry is a major consumer of natural resources while also being responsible for generating a huge amount of solid waste. This is mainly due to losses that occur in the construction process and the lack of reuse and recycling of the material generated in the demolition process. According to Resolution 307 of the National Environment Council, generators of construction waste should have as a priority the non-generation of waste and, secondarily, reduction, reuse, recycling and final destination. Therefore, in this research the construction and demolition residue was combined with a clay soil compacted to constitute a new material that could be used as a foundation for surface foundations or as landfills for the construction of roads. Firstly, soil and residue characterization tests were performed and compaction tests were carried out with each material. Samples of 5.0 x 5.0 x 2.0 cm soil with addition of 0, 25, 50 and 75% of waste from construction and demolition was molded at optimal humidity and maximum density for the execution of the direct shear tests. From the direct shear tests it was possible to determine the resistance parameters and to know the tension behavior x horizontal displacement and vertical displacement x horizontal displacement of each material. Through the compaction tests, it was observed that the optimum humidity decreased and the specific weight increased with the addition of RCD. The resistance parameters obtained through the direct shear tests underwent changes with the addition of the residue, where the cohesion decreased and the friction angle increased. It was also contacted that the shear stress increased with the addition of 50% and 75% residue to the normal stress of 400 kPa. On the other hand, for the other normal stresses and for the different residue contents there were no significant changes in the shear tensions. As for simple compression, this showed that the soil-residue mixture is efficient for mixtures of 25% and 50% if compared to the soil without addition of residue.

Keywords: Compression. Recycling. Landfill. Waste from Construction and Demolition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vias de passeio com RCD do Parque Tape-Porã.....	20
Figura 2. Curvas de Compactação	23
Figura 3. Estrutura do solo compactado.....	24
Figura 4. Ensaio de cisalhamento direto	26
Figura 5. Representação gráfica da resistência ao cisalhamento dos solos.....	27
Figura 6. Equipamento e resíduo processado pela empresa RESICON	30
Figura 7. Resíduo preparado em laboratório pronto para uso.	31
Figura 8. Peneiras utilizadas para construção da curva granulométrica	32
Figura 9. Energias de Compactação.....	33
Figura 10. Aparelho para ensaio de cisalhamento direto	34
Figura 11. Aparelho para ensaio de Compressão Simples	35
Figura 12. Curva Granulométrica do Resíduo da Construção Civil.....	36
Figura 13. Curva Granulométrica do Solo	37
Figura 14. Curva granulométrica do solo pelo método da pipeta.....	37
Figura 15. Curvas de compactação	38
Figura 16. Tensão x Deslocamento Horizontal para 0% RCD.....	40
Figura 17. Tensão x Deslocamento horizontal para 25% RCD.....	40
Figura 18. Tensão x Deslocamento horizontal para 50% RCD.....	41
Figura 19. Tensão x Deslocamento horizontal para 75% RCD.....	41
Figura 20. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 0% RCD.....	43
Figura 21. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 25% RCD.....	43
Figura 22. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 50% RCD.....	43
Figura 23. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 75% RCD.....	44
Figura 24. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 0% RCD.....	44
Figura 25. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 25% RCD.....	45
Figura 26. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 50% RCD.....	45
Figura 27. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 75% RCD.....	45
Figura 28. Curva de resistência a compressão simples para 0% RCD	47
Figura 29. Curva de resistência a compressão simples para 25% RCD	47
Figura 30. Curva de resistência a compressão simples para 50% de RCD.....	47
Figura 31. Curva de resistência a compressão simples para 75% de RCD.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos.....	21
Tabela 2. Umidade ótima e Densidade aparente	39
Tabela 3 - Ângulo de atrito e coesão	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT NBR - Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas

c - Coesão ou intercepto de coesão

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

kg – quilogramas

kPa – quilo Pascal

mm/min – milímetros por minuto

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

RCS - Resistência à Compressão Simples

RESICON - Central de Triagem de Resíduos da Construção Civil do Noroeste do RS

RSU – Resíduo Sólido Urbano

γ_d máx - Peso específico seco máximo

σ - Tensão normal vertical

τ - Resistência ao cisalhamento do solo

ϕ - Ângulo de atrito interno do solo

ω ótima – Umidade ótima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.1.1 Objetivos Específicos	14
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO	16
3.2.1 Reaproveitamento do RCD	18
3.3 CARACTERÍSTICAS DO SOLO	20
3.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO	21
3.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO	25
3.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES	27
4. METODOLOGIA	29
4.1 MATERIAIS	29
4.1.1 Água destilada	29
4.1.2 Solo	29
4.1.3 Resíduo	30
4.2 MÉTODOS.....	31
4.2.1 Curva granulométrica	31
4.2.2 Ensaio de Compactação	32
4.2.3 Ensaios de Cisalhamento Direto	33
4.2.4 Ensaios de Compressão Simples	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS.....	36
5.2 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO	38
5.3 ENSAIOS DE CISALHAMETO DIRETO	39
5.4 ENSAIOS DE COMPRESSÃO SIMPLES	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
7. REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

A construção civil, em suas várias áreas de atuação gera um grande volume de resíduos que pode causar vários problemas ambientais e uma das alternativas para minimizá-los é por meio da reciclagem de resíduo de construção e demolição (RCD). Para isso há a necessidade crescente de estudos que possam avaliar e viabilizar a possibilidade de utilização de resíduos da construção e demolição nas mais variadas condições de solo, reduzindo o volume de material descartado.

Segundo Pereira e Vieira (2013) os RCD são compostos principalmente de tijolos, areias e argamassas além de uma pequena porcentagem de restos de concreto, pedras, cerâmicas, gesso, madeira, etc. Para estes, conforme previsto classificação pela lei, as alternativas de reciclagem do RCD são variadas e podem ser dadas como, por exemplo, a produção de novos agregados reciclados para substituir agregados naturais, a utilização de resíduos de construção em concretos, argamassas, pavimentos, contenções, aterros, solos reforçados, entre outros. Aplicações estas, que trazem inúmeras vantagens como, por exemplo, a redução de exploração de recursos naturais e contaminações (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

Sabe-se que a demanda por construções vem crescendo cada vez mais nas cidades, e quanto maior esse crescimento, maior os problemas resultantes com o RCD, pois o não reaproveitamento do mesmo acaba por acarretar danos ambientais tanto pela falta de locais adequados para descarte quanto pelo desperdício de um material que teria uma boa aplicação caso fosse remanejado corretamente (FERREIRA e THOMÉ, 2011).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA N° 307 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Segundo esta resolução, os geradores de resíduos deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. Estes resíduos não poderão mais ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, áreas de bota-fora, em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei. Assim, faz-se necessário um maior estudo para cada caso que envolva estes resíduos no sentido de reaproveitá-los.

Enfim, com a busca pelo desenvolvimento sustentável, apresentar alternativas de estudo e reaproveitamento dos resíduos sólidos da construção civil não resultará apenas em uma possível economia energética, mas também em uma redução de impactos negativos, como contaminação de corpos hídricos, solos e mesmo exposição à saúde humana.

Sendo assim, nesta pesquisa buscou-se reutilizar estes resíduos, especificamente restos de tijolos e argamassa, em camadas superficiais de solo compactado que podem ser aplicadas como base de fundações superficiais ou como aterros voltados para a construção de estradas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Objetiva-se determinar a resistência ao cisalhamento e compressão de um solo argiloso compactado com resíduos da construção e demolição.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização do solo natural e do resíduo;
- Determinar os parâmetros de resistência do solo compactado e do solo-resíduo;
- Avaliar o efeito do teor de resíduo na resistência ao cisalhamento e na resistência à compressão simples do solo compactado.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica contextualizando o assunto da construção civil seguido da apresentação sobre o resíduo gerado na construção civil, os principais problemas atrelados a ele e as envoltórias relacionadas ao mesmo. Posteriormente as características do solo, a importância do conhecimento das propriedades de caracterização do solo bem como a compactação. Este referencial também apresenta os fatores envolvidos nos ensaios de cisalhamento direto e compressão simples.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A construção civil pode ser considerada como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, entretanto comporta-se como grande geradora de impactos ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais ou pela geração de resíduos, necessitando assim, que ocorra um crescimento sustentável associado a esse setor (OLIVEIRA e COSTANZI, 2014).

Os resíduos de construção e demolição são um problema que devem ser avaliados com o devido cuidado pela sociedade, não só pelo fato de trazerem agravos ao meio ambiente, mas também por acarretarem danos à saúde humana se não tratados devidamente, pois os problemas com estes vão muito além do descarte incorreto ou disposição em local inadequado (AMORIM, 2013).

Devido à crescente geração destes resíduos, a demanda por matérias primas na construção civil e o aumento de desperdícios de materiais em obras de construção, que se procuram maneiras de mitigar ou minimizar os impactos causados por estes. Uma dessas formas foi a criação da Resolução nº 307 do CONAMA, que buscou normatizar as questões relacionadas ao RCD e fazer as definições para estes resíduos (BERNARDES, THOMÉ, PRIETTO e ABREU, 2008).

Para Alcantara (2005) a falta de conhecimento é um dos grandes problemas ainda existentes nesta área, principalmente pelo fato de se possuir tecnologia para a reciclagem e dificilmente ter-se o compartilhamento ou utilização dessas informações, bem como o desconhecimento dos volumes de entulho gerados e dos impactos que causam, dos custos e possibilidades de reaproveitamento com a correta gestão destes. Isso porque, a reciclagem e reutilização dos RCD são extremamente necessárias tanto para a preservação dos recursos

naturais e diminuição das áreas de contaminação bem como a redução de custos monetários (SPADOTTO e BATISTA, 2014).

Construção é sinônimo de desenvolvimento e esta, acompanha a geração de resíduos. Há muito, o descarte acontecia de maneira irregular, sem o pensamento de reutilização ou mesmo da contaminação que poderia resultar, mas nas últimas décadas, ficou clara a preocupação sobre a gestão destes resíduos e a necessidade crescente de estudos nesta área.

Neste cenário, atualmente a reciclagem é muito bem vista pela construção civil principalmente pela possibilidade de substituição de matérias primas por agregados de mesma qualidade e menor custo, pois entulho pode deixar de ser um problema, tornando-se uma saída para a escassez de materiais (OLIVEIRA e MENDES, 2008).

3.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO

Pinto (1999) traz que da massa total dos RSU brasileiros, o RCD representa um montante variável entre 41% a 70%. Atrelado a esse percentual, geralmente observa-se o grau de desenvolvimento e atividades econômicas de determinada localidade, visto o maior ou menor adensamento populacional e renda. Além de que, o desperdício na construção civil é elevado e possuindo uma grande heterogeneidade quanto à composição.

Os resíduos de construção e demolição podem ser definidos como a resultante de operações de construção, reconstrução, ampliação, alterações, conservação, demolição, manutenção, restauração, entre outras (PEREIRA e VIEIRA, 2013).

Assim, por Silveira (1993), podemos entender os RCD pelo modo como são gerados em uma obra. Os resíduos da demolição são os provenientes de obras de demolição de edifícios ou infraestruturas. Já os resíduos da construção, são as parcelas onde as diversas fases construtivas acarretam em entulhos, ou seja, resíduos provenientes de novas obras. Já para os resíduos de reparação, seriam os resultantes de obras de remodelação e reparação. Contudo, além do simples descarte, o superdimensionamento de estruturas e descompatibilidade entre os projetos e execuções das obras, também são grandes pontos de geração do RCD.

Podemos também classificar estes resíduos conforme a o tipo de material que se encontra presente. Para o caso de terras, argamassas, tijolos, telhas, alvenarias, etc., teremos resíduos inertes. Embalagens diversas, plásticos, madeiras, metais e vidros já são classificados como resíduos não inertes. E os resíduos perigosos, que seriam óleos usados, latas de tintas e solventes, amianto, etc. (OLIVEIRA e MENDES, 2008). Para estes resíduos perigosos há leis

rigorosas sobre seu uso, manejo e descarte como a NBR 10004/2004, pois o amianto, por exemplo, pode causar danos extremos à saúde se não tomada as devidas precauções.

Ainda, Pereira e Vieira (2013) comentam que se basear no modo de destinação final dos resíduos, ter-se-á:

- os resíduos reutilizáveis, quais podem ser reutilizados na obra;
- os resíduos recicláveis, que podem ser reciclados e;
- os resíduos não recicláveis, que tanto pelas características como pela possibilidade de contaminação, não podem ser reciclados.

De acordo com Ferreira (2010), no Brasil os RCD são compostos principalmente por tijolos, areias e argamassas somando estes um total representativo de cerca de 80%. A porcentagem restante corresponde a restos de concreto, pedras, cerâmica de gesso e de madeira, etc. As principais fontes que resultam nos resíduos da construção são os erros de dimensionamento quanto às quantidades de matéria a ser utilizada, danos nos materiais, perdas construtivas e rejeitos. Para Ferreira e Thomé (2011) o aumento significativo da geração de RCD é inquestionável de acordo com a estimativa de que a geração brasileira per capita do mesmo é de aproximadamente 510 kg/hab/ano e, de um montante final, sabe-se que cerca de um terço tem destino correto.

O Artigo 2º da Resolução CONAMA nº 307 define como resíduos da construção civil os provenientes de construção, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, colas, tintas, madeiras, gessos, vidros, plásticos, etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha (BRASIL,2002).

Já o artigo 3º classifica os resíduos da construção em quatro grupos, sendo o de classe A, todo e qualquer tipo de material que possa ser reciclado e reutilizado como agregado, tendo-se como exemplo restos de tijolo, argamassa, pedras, concretos, etc. Os de classe B são todos aqueles materiais que podem ser reciclados, porém devem ser destinados a outros usos, como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, etc. Dentro destes tem-se a classe II B, inerte, que acordo com a NBR 10004/2004 são aqueles que, quando submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (BRASIL, 2002).

Os da classe C compreendem os materiais que não possuem processo de reciclagem ou reutilização, devido à inviabilidade financeira ou até mesmo ausência de tecnologia para tal, e

enfim a classe D onde se enquadram os resíduos provindos da construção altamente nocivos a saúde humana, tendo como exemplo tintas, solventes, óleos, materiais contaminados, reformas e reparos de clínicas radiológicas entre outros (SPADOTTO e BATISTA, 2014). Além disso, o Artigo 4º da Resolução CONAMA nº 307 prever que os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e subsequentes à redução, reutilização e reciclagem, bem como a destinação final.

Uma das formas de diminuir os problemas causados pelos resíduos seria a reciclagem. Uma das alternativas para esta, seria a utilização de agregados reciclados para substituírem os agregados naturais, a utilização de resíduos de construção em concretos, aterros, argamassas, pavimentos, solos reforçados, entre outros. Ainda, outra alternativa seria a estabilização de solos com a aplicação de agregados, a exemplo tem-se solo-brita e solo-cimento (HORTEGAL, FERREIRA e SANT'ANA, 2009).

Esta última alternativa é aplicada quando está relacionada à falta de resistência nos solos. Em muitos casos, os solos são de baixa capacidade de suporte e de alta deformabilidade, o que os torna inviáveis para determinados tipos de projetos. Assim, empregando os resíduos da construção civil pode-se obter uma forma viável de, por exemplo, obras de fundações superficiais com o uso de agregados (FERREIRA e THOMÉ, 2011).

Enfim, para Ângulo, Zordan e John (2003) as vantagens de reaproveitar de alguma forma o RCD podem ser observadas no baixo custo em relação aos agregados naturais, redução da demanda dos agregados primários e consequente preservação das paisagens urbanas e das jazidas, diminuição das áreas de aterro, diminuição da atração de transmissores de doenças, do entupimento de bueiros e do assoreamento dos cursos d'água e reservatório, que podem implicar em aumento das enchentes e inundações nas estações chuvosas e a preservação ambiental.

3.2.1 Reaproveitamento do RCD

Na constituição dos resíduos de construção e demolição, muitos materiais possuem alto potencial de reciclagem e podem apresentar uma alternativa vantajosa tanto para o setor de construção, como para o meio ambiente.

Fliegner (2015) traz que uma das formas já existentes de aproveitamento do RCD é a utilização em pavimentos, sendo empregado em reforços do subleito ou sub-bases com base nas especificações da norma ABNT 15115 (2004), que permite o seu uso como material de base em vias de baixo volume de tráfego. Ainda, faz-se a utilização do RCD como substituto

de agregados convencionais. O material reciclado pode ser utilizado em concreto com função não-estrutural, desde que livres de contaminantes e impurezas numa proporção de 20%, que não vá interferir na resistência mecânica e na durabilidade do concreto, podendo ser utilizado em blocos, meio-fio, e outros materiais não-estruturais (FERREIRA; NOSCHANG; FERREIRA, 2009).

Ainda, Brasileiro e Matos (2015) revelam que os agregados provenientes da reciclagem de RCD podem ser usados em argamassas de assentamento de tijolos e blocos ou em revestimentos internos e externos, observado que as vantagens dessa utilização dão-se nos próprios canteiros de obras, pela redução dos custos de transporte, do consumo de cimento e cal e pelo ganho na resistência à compressão do material reciclado em relação às argamassas convencionais.

Também, há estudos como o de Santos (2014) que mostra a utilização como agregado em pisos táteis e intertravados com viabilidade da produção de concretos com fibras de aço utilizando RCD como agregado para uso em pisos intertravados, revelando assim uma solução ambiental para esse tipo de resíduo.

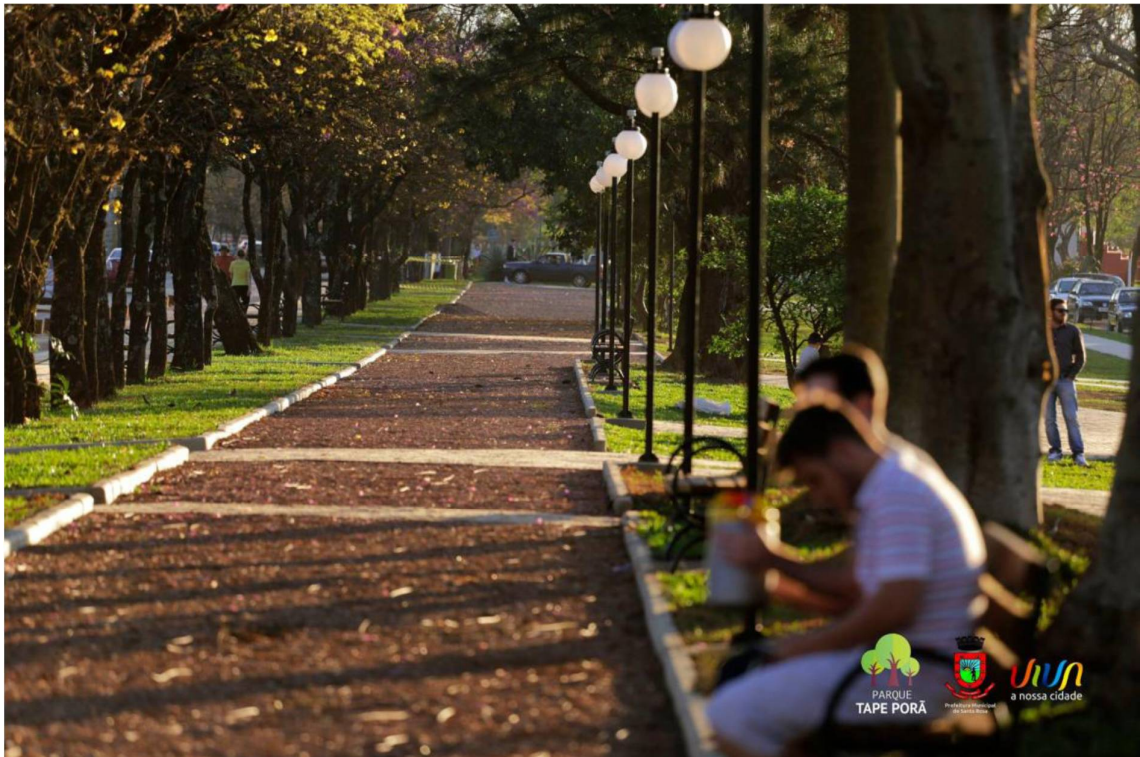
Outra utilização se dá na produção de blocos de concreto para vedação e/ou elementos de enchimento em lajes pré-moldadas a partir da utilização de pó de serra como agregado miúdo em substituição parcial ou total do agregado miúdo mineral, possibilitando assim a redução significativa de areia na sua produção, além de proporcionar um comportamento mais leve e termoisolante do material, em função da baixa condutividade térmica do pó de serra (FLIEGNER, 2015).

Além disso, Santos (2007) apresenta a possibilidade da utilização do RCD como material de aterro em obras de solo reforçado, pois através de ensaios o RCD revelou baixos coeficientes de variação nos resultados de caracterização, excelentes propriedades de resistência, e comportamento mecânico que justificam a sua utilização nessa função.

Sendo assim, conforme apresentado, percebe-se inúmeros trabalhos que envolvem a utilização do RCD em complexos de engenharia buscando uma alternativa economicamente viável e ambientalmente correta.

Por fim, um exemplo simples e prático dado ao RCD pode ser observado no município de Santa Rosa – RS, onde com a criação do Parque Tape-Porã, a prefeitura utilizou pedriscos provenientes da construção civil, tanto embaixo do piso intertravado, como no material das vias de passeio. Uma iniciativa inovadora e econômica que resultou em um espaço urbanístico de lazer muito frequentado, podendo ser observado pela Figura 1.

Figura 1. Vias de passeio com RCD do Parque Tape-Porã



Fonte: Prefeitura Municipal de Santa Rosa (2017).

3.3 CARACTERÍSTICAS DO SOLO

A origem dos solos se dá pela decomposição das rochas, sendo esta causada por agentes físicos, químicos ou biológicos, constituindo exemplos às variações de temperaturas, congelamento e descongelamento, presença de fauna e flora, etc. Contudo a concentração de cada tipo de partícula depende da composição química da rocha de origem (SOUZA PINTO, 2006).

Uma das principais características que diferenciam os solos é o tamanho das partículas que o compõem e, podendo esta diversidade de tamanhos, ser muito variada. Há, desde grãos muito grandes, como pedregulhos e matacões, até partículas que não podem ser vistas individualmente como siltes e argilas. Ainda, as partículas também podem ser separadas por textura arenosas ou argilosas (ACHTERBERG, 2014).

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT- criou limites para classificar as faixas de tamanho de grãos. Estes podem ser observados na tabela abaixo.

Tabela 1. Limites das frações de solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites definidos pela ABNT
Matacão	de 25 cm a 1 m
Pedra	de 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	de 4,8 mm a 7,6 cm
Areia Grossa	de 2 mm a 4,8 mm
Areia Média	de 0,42 mm a 2 mm
Areia Fina	de 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	de 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: Adaptado SOUZA PINTO, 2006.

Existem diversas peneiras com determinadas aberturas para tornar possível a separação de partículas de determinados materiais. Estas têm número de malhas estabelecidas, que podem ser observada na NBR 7217/87. Segundo Souza Pinto (2006) a análise granulométrica é uma curva logarítmica que nos permite observar a distribuição granulométrica do solo com a porcentagem da composição. Essa técnica pode ser dar pelo peneiramento ou ainda para partículas muito finas, com a sedimentação. Um exemplo prático a se observar seria para a separação entre frações de silte e areia onde é usual a peneira nº 200 (0,075mm).

Quando tratamos de solos argilosos e solos arenosos há inúmeras características que os difere. No caso dos solos argilosos, há menor porosidade do solo, alta retenção de água, drenagem lenta e pouco arejada, maior densidade do solo, aquecimento lento, menos lixiviável, mais resistente à erosão, coesão elevada e muita matéria orgânica. Já no caso dos solos arenosos, há maior porosidade do solo, baixa retenção de água, boa drenagem e aeração, menor densidade do solo, aquecimento rápido, resistente a compactação, mais suscetível a erosão, baixa coesão, baixa matéria orgânica, etc. (REINERT e REICHERT, 2006).

3.4 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Quanto à compactação dos solos, é um método que visa aumentar mecanicamente a densidade do solo. No contexto de construção, esta é uma parte importante do processo para

edificação, aterros, barragens de terras, camadas de pavimentos, preenchimento de áreas, entre outras aplicações.

Há várias razões para utilizar a técnica de compactação sendo umas das principais, a busca por maior estabilidade, aumento da rigidez e resistência do solo, redução da infiltração e permeabilidade, dilatação e contração, a redução de sedimentação do solo além de evitar ou reduzir futuros recalques. Isso se dá pelo fato de que a densidade de um solo não compactado tem baixa capacidade de suporte, já um solo compactado tem uma capacidade de suporte melhorada (FILHO e CARVALHO, 2003).

Segundo Souza Pinto (2006) a técnica de compactação envolve uma quantidade constante de partículas e de água e o aumento da massa específica corresponde à eliminação de ar dos vazios. É importante observar que quando o grau de saturação é muito elevado o ar não consegue mais sair e fica envolto por água e a compactação não consegue mais ser tão eficiente em expulsar esse ar. Portanto, para uma determinada energia aplicada, há uma umidade ótima que conduz a uma massa específica seca máxima ou uma densidade seca máxima.

Em 1933 o engenheiro norte-americano Proctor, observou que ao aplicar certa energia de compactação o peso específico seco do solo é função da umidade, determinando assim a densidade máxima de um solo necessária para uma obra específica. De tal modo, quando se compacta com baixa umidade, o atrito entre as partículas é muito alto e não se consegue uma redução significativa dos vazios. Quando há umidades adequadas, as partículas se rearranjam melhor acarretando em uma melhor compactação.

Apesar disso, é muito importante constar que a adição de água em solo seco facilita a compactação, pois a densidade final aumenta. No entanto, deve-se saber que este acréscimo só é benéfico quando se alcança o teor de umidade ótima. Valores acima deste, já condicionam características indesejadas e ineficiência no processo. Assim, o Ensaio de Proctor foi padronizado pela ABNT pela NBR 7182/86 (SOUZA PINTO, 2006).

Nestes ensaios, percebe-se que a aplicação de uma maior energia de compactação provoca um aumento da densidade seca quando o solo se encontra com uma umidade abaixo da ótima. Já quando a umidade está acima da umidade ótima, o esforço da compactação é quase indiferente no aumento da densidade, pois não se consegue expelir o ar dos vazios.

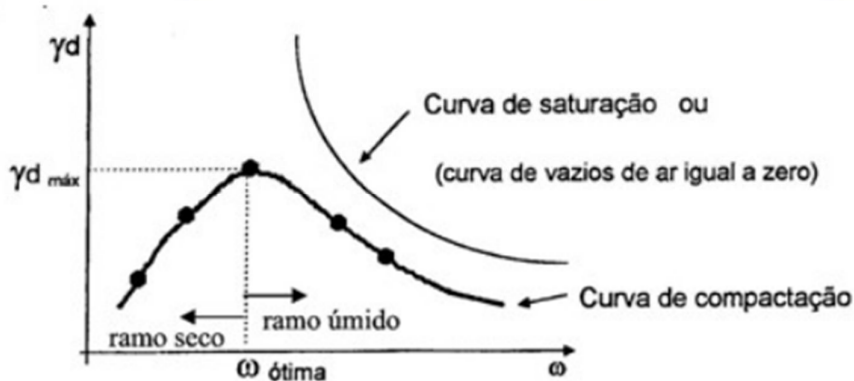
Ainda, Filho e Carvalho (2003) apresentam que:

Quando um solo é compactado com baixo teor de umidade, as forças entre partículas de argila são predominantemente de atração, de tal forma que a estrutura que se forma é denominada floculada. O aumento do teor de umidade tende a aumentar a repulsão entre as partículas, e a produzir como consequência uma dispersão destas. Assim, o menor grau de dispersão permitirá um arranjo mais ordenado das partículas e uma densidade mais elevada. Dessa maneira, com o aumento do teor de umidade no solo, aumenta-se a tendência à repulsão das partículas e, como consequência, pode-se encontrar uma estrutura denominada dispersa, com menor densidade. (FILHO; CARVALHO, 2003, p. 14).

Cada ensaio em específico tem sua aplicabilidade em áreas distintas. O ensaio com o Proctor Normal, por exemplo, é recomendado para a obtenção do valor da umidade ótima para obras de terra de pequeno porte e que serão compactadas por equipamentos leves. Já o Ensaio de Proctor Modificado é recomendado para a obtenção do valor da umidade ótima para obras de terra de grande porte e que serão compactadas por equipamentos pesados, e por fim, o Ensaio de Proctor Intermediário é recomendado para a obtenção do valor da umidade ótima para obras de terra compactada e equipamentos de médio porte (FILHO e CARVALHO, 2003).

Na Figura 2 pode-se observar o comportamento ao se realizar a compactação do solo por uma mesma energia de compactação para diferentes valores de umidade.

Figura 2. Curvas de Compactação



Fonte: Antas, 2016

Quando aplicado no campo, as formas pela qual a energia de compactação pode ser transmitida ao solo são por pressão, impacto ou vibração. Os equipamentos utilizados para tal podem ser divididos em cilindros estáticos, cilindros vibradores e equipamentos de percussão. E os fatores que influenciam na compactação, como já mencionado, são o teor de água e

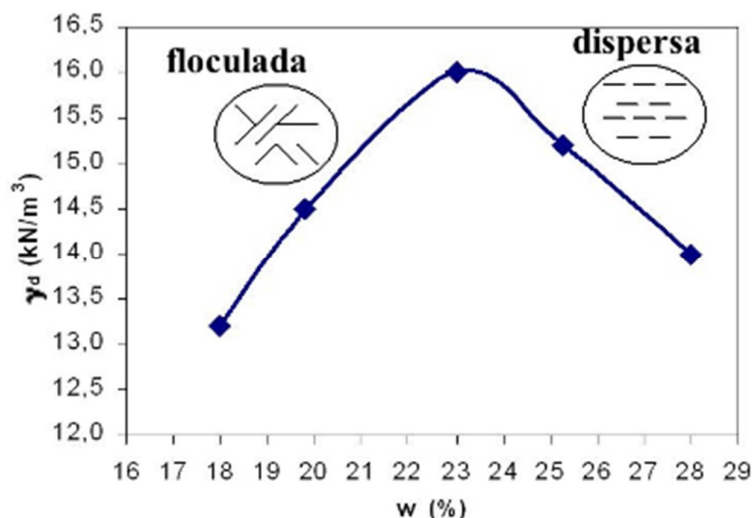
também o número de passagens do compactador, a espessura da camada compactada e as características do equipamento utilizado (SANTOS, 2008).

Ainda, Santos (2008) informa que o tipo de solo também tem grande influência nas curvas de compactação, como no caso de solos finos ou solos granulares. Em solos mais grosseiros o teor de água ótimo é menor, já solos com predomínio de argila o teor de umidade ótimo é mais elevado. Isso pode resultar em valores mais elevados do peso específico seco, ou um peso mais reduzido.

Assim, tendo visto que as texturas do solo em questão, arenosas ou argilosas, podem observar que, solos argilosos são formados por grãos pequenos e compactos, o que facilita a melhor compactação quando nas condições ideais. No caso dos solos arenosos, por serem muito permeável, pois a água infiltra facilmente pelos espaços formados entre os grãos, é mais difícil obter uma compactação tão eficaz.

A estrutura resultante do solo compactado depende muito da energia aplicada e da umidade do solo. Conforme a Figura 3 a seguir, vemos que o solo pode assumir duas estruturas em função desses parâmetros: estrutura floculada e/ou dispersa.

Figura 3. Estrutura do solo compactado



Fonte: Adaptado Geotecnia e fundações, 2017.

A estrutura floculada ocorre quando junto com a baixa umidade, a atração face-aresta das partículas não é vencida pela energia aplicada. Já para a estrutura dispersa, em umidades maiores ocorre aumento da repulsão entre partículas, e a compactação se orienta de forma

paralela. De modo geral, o pico da curva representa alta energia de compactação já a parte mais baixa ao lado direito, uma baixa energia de compactação (TÍMBOLA, 2014).

Outra maneira análoga de observar a Figura 3, é que a estrutura floculada abrange o ramo seco, no qual a água lubrifica as partículas e facilita o arranjo desta, ocorrendo por essa razão, o acréscimo do peso específico aparente seco. E na estrutura dispersa qual encontra-se o ramo úmido, a água amortiza a compactação e começa a ter mais água do que sólidos, sendo por essa razão, a diminuição do peso específico aparente seco (GEOTECNIA E FUNDAÇÕES, 2017).

No comportamento de solos compactados, entende-se assim que as propriedades dependerão do processo e da umidade de compactação, dos quais são resultantes o peso específico seco, o grau de saturação e a estrutura do solo.

3.5 ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO

Uma das formas empregadas para determinar a resistência ao cisalhamento dos solos é o ensaio de cisalhamento direto. Ele é um método antigo que se baseia no critério de Coulomb, para obtenção dos parâmetros de resistência, coesão e ângulo de atrito, onde aplica-se uma tensão normal num plano e verifica-se a tensão cisalhante que provoca a ruptura. Entretanto pelo fato de este ensaio não considerar a distorção, não é possível a determinação de parâmetros de deformidade do solo nem do módulo de cisalhamento (SOUZA PINTO, 2006).

O ensaio de cisalhamento direto foi desenvolvido basicamente para a determinação da resistência ao corte de um corpo de prova de solo, de forma prismática e seção quadrada ou circular e de pequena espessura. Consistindo num aparato que promove o deslizamento de uma metade do corpo de prova de solo em relação a outra, determinando assim, para cada tensão normal à superfície do deslizamento, o valor da tensão cisalhante necessária para provocar a deformação do corpo de prova até a ruptura (MARANGON, 2009).

O ensaio de cisalhamento direto é executado mantendo-se constante a tensão vertical e medindo-se a tensão cisalhante correspondente a cada deformação horizontal imposta ao corpo de prova, gerando dessa maneira a curva tensão *versus* deformação. Importante ser observado também, que este ensaio pode ser executado em três modalidades, sendo ensaio rápido, ensaio adensado rápido ou ensaio lento (PIVETTA, CASTRO e VENDRUSCOLO, 2017).

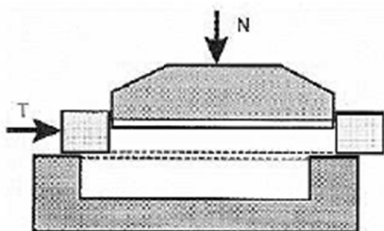
A resistência ao cisalhamento de um solo pode ser definida pela máxima tensão de cisalhamento que um solo pode resistir antes da ruptura, ou a tensão de cisalhamento do solo

no plano em que estiver ocorrendo a ruptura. O cisalhamento ocorre devido ao deslizamento entre corpos sólidos ou entre partículas do solo. Os principais fenômenos que permitem menor ou maior deslizamento são o atrito e a coesão (VIECILI, 2003).

O coeficiente de atrito pode ser definido como a força tangencial necessária para ocorrer o deslizamento de um plano, em outro paralelamente a este. Esta força também é proporcional à força normal ao plano. O ângulo formado entre a força normal e a resultante das forças tangencial e normal, é chamado de ângulo de atrito, sendo o máximo ângulo que a força cisalhante pode ter com a normal ao plano sem que haja deslizamento. Já no caso da coesão, se trata de uma forma de resistência devido ao atrito entre os grãos que acrescida da atração química entre partículas que independe da força normal (VIECILI, 2003).

Lima (2015) traz de forma geral que o ensaio de cisalhamento direto é utilizado para avaliar a resistência ao cisalhamento de um solo. Através do ensaio determina-se qual a tensão de cisalhamento capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo, colocada em uma caixa de cisalhamento composta de duas partes deslocáveis entre si, submetida a uma tensão normal, o que pode ser observado conforme Figura 4.

Figura 4. Ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Adaptado Pinto (2002 apud BERNARDI, 2002, p.59)

Nos solos estão presentes os fenômenos de atrito e coesão, portanto, determina-se a resistência ao cisalhamento dos solos (τ), segundo as expressões abaixo.

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg } \phi \quad (1) \quad \text{ou} \quad S = c + \sigma \cdot \text{tg } \phi \quad (2)$$

onde,

τ = resistência ao cisalhamento do solo;

c = coesão entre as partículas do solo;

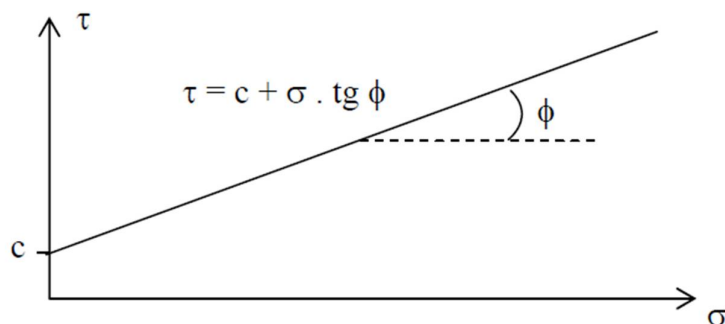
σ = tensão normal vertical;

ϕ = ângulo de atrito interno do solo;

S = envoltória de resistência.

A Figura 5 demonstra graficamente a aplicação das equações (1) e (2).

Figura 5. Representação gráfica da resistência ao cisalhamento dos solos



Fonte: Notas da autora, 2017.

Enfim, os estudos relacionados a RCD e solos compactados mostraram que existe uma aplicação de alta eficiência destes em obras de fundações superficiais, por exemplo. Essas fundações superficiais são as quais a profundidade do assentamento da fundação do solo é menor ou igual a sua largura, diferente das fundações profundas onde o comprimento é maior que a largura. Para tal, ressalta que na determinação de capacidade de carga devem-se considerar as condições fundamentais de comportamento do material a ser analisado, que seriam a ruptura e a deformação. Entretanto, se afirma que para qualquer obra também deve ser de suma importância o coeficiente de segurança (MARANGON, 2009).

3.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

O ensaio de compressão simples é o método mais simples e rápido para determinar a resistência ao cisalhamento de solos coesivos e fornecendo o valor da coesão do solo. Este ensaio é indispensável para a avaliação mecânica, pois dele obtém-se um estado de tensão de ruptura (RAMOS, 2016).

Este tipo de ensaio, é um caso especial do ensaio triaxial, onde a tensão confinante é nula, sendo utilizado para determinar a resistência não drenada de solos argilosos e determinar o valor da tensão que provoca a ruptura do corpo de prova (CIPRANDI, 2016).

O ensaio de compressão simples pode ser executado de duas maneiras. A primeira seria pela deformação controlada, onde controla-se a velocidade de deformação do corpo de prova e mede-se a carga aplicada correspondente e a outra maneira seria por carga controlada,

a qual controla-se a carga aplicada ao corpo de prova e mede-se a deformação correspondente (TORRES GEOTECNIA, 2017).

De modo geral, este tipo de ensaio é utilizado para avaliações comparativas de misturas solo-estabilizante, bem como qualquer compósito que possa ser desenvolvido com o uso de materiais geotécnicos. Utiliza-se este tipo de teste por consistir em um ensaio rápido de execução, visto que tem as vantagens de ser um ensaio simples de ser executado, rápido e de baixo custo (CIPRANDI, 2016). Este ensaio pode ser conduzido de acordo com as normas DNER-IE 004/94, NBR 12025/2012 e ASTM D2166.

4. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os materiais utilizados e a metodologia desenvolvida nos ensaios. Os ensaios foram realizados no Laboratório 3, sala 103 do campus da Universidade Federal da Fronteira Sul, localizado no município de Cerro Largo. Para os ensaios granulométricos e construção de curvas de compactação buscou-se a caracterização do solo e das misturas solo-resíduo. Por meio dos parâmetros de resistência encontrados nos ensaios de cisalhamento direto, pode-se determinar ângulo de atrito e coesão de cada amostra. Os ensaios de compressão simples também auxiliaram para se analisar a resistência do solo e da mistura.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Água destilada

Para o preparo das amostras e realização dos ensaios, utilizou-se água destilada preparada no próprio laboratório. Isto pois, a água destilada propicia uma maior segurança devido ao seu grau de pureza.

4.1.2 Solo

Utilizou-se neste trabalho um solo residual de basalto, proveniente do horizonte B, coletado na área territorial da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo.

Para a realização deste estudo foi importante conhecer as características do solo local com que se trabalhou. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Cerro Largo (2012), o município de Cerro Largo situa-se no noroeste do estado onde se tem as rochas do grupo São Bento identificado pelas Formações Serra Geral.

O perfil geológico representativo do município, o qual enquadra o local aonde foi coletada as amostras de solo utilizadas neste estudo, apresenta na sua porção superior uma camada de solo argiloso avermelhado provindo da alteração da rocha vulcânica da Formação Serra Geral, após este, a rocha vulcânica alterada de coloração ocre e na sequência a rocha vulcânica são de coloração acinzentada, magnética, maciça com textura afanítica às vezes amigdaloidal, prevalecendo fraturas verticais e com algumas esfoliações esferoidais (Cerro Largo, 2012).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007), o solo natural é classificado como latossolo vermelho distroférico, característico da região noroeste do Rio Grande do sul. Os latossolos, possuem grande homogeneidade de características ao longo do

perfil, são bem drenados e de coloração vermelha escura (LIMA, 2015). Maiores informações sobre a caracterização do solo da UFFS, *Campus Cerro Largo*, podem ser obtidas em PIVETTA, CASTRO e VENDRUSCOLO (2017).

É importante observar que a origem da estrutura de um solo pode-se dar tanto da ligação entre partículas individuais quanto do arranjo entre partículas ou agregados. Neste caso, como foi tratado com solo argiloso, sabe-se que a estrutura inicial é função da mineralogia, forma e tamanho das partículas, composição química, teor de matéria orgânica, turbulência, temperatura, entre outros (DENARDIN, 2005).

4.1.3 Resíduo

O resíduo da construção e demolição (RCD), o qual possui composição de argamassa e tijolos triturados, classificados conforme CONAMA 307/2002 e NBR 10004/2004, foi obtido junto à Central de Triagem de Resíduos da Construção Civil do Noroeste do RS (RESICON), localizada no município de Santa Rosa - RS.

O resíduo da construção que obteve-se na RESICON pode ser visto conforme Figuras 6 e 7 abaixo.

Figura 6. Equipamento e resíduo processado pela empresa RESICON



Fonte: Autora, 2016.

Figura 7. Resíduo preparado em laboratório pronto para uso.



Fonte: Autora, 2016.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Curva granulométrica

Comumente, os tipos de solo são classificados quanto ao tamanho dos grãos, o qual pode ser determinado pela passagem do solo através de uma série de peneiras. Através da NBR 7181 (ABNT, 1984) sobre análise granulométrica, determinou-se a curva granulométrica de cada ponto, além da determinação da composição granulométrica pela NBR 7217 (ABNT, 1987).

A granulometria é a distribuição, em porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos. Para se proceder à análise granulométrica do resíduo, fez-se necessário que os componentes destes atravessassem peneiras, as quais estavam dispostas ordenadamente, superpondo-as na ordem de série, sempre iniciando com a de maior abertura de malha.

A análise granulométrica consistiu nesta fase, apenas no peneiramento. Com a determinação das dimensões das partículas do resíduo e das proporções relativas em que elas se encontram, representou-se graficamente, pela curva granulométrica. Esta curva foi traçada por pontos em um diagrama semi-logarítmico, no qual, sobre os eixos das abscissas, marcaram-se os logaritmos das dimensões das partículas e sobre o eixo das ordenadas as porcentagens de material.

O procedimento fez uso das peneiras de 3/8", n° 4, n° 8, n° 10, n° 30, n° 40, n° 50, n° 100 e n° 200 para o resíduo (Figura 8), enquanto para o solo, este foi macerado com pistilo e almofariz, sendo utilizado o material passante pela peneira n° 40.

Figura 8. Peneiras utilizadas para construção da curva granulométrica



Fonte: Elaborado pela autora, 2017

4.2.2 Ensaio de Compactação

A preparação das amostras de solo para o ensaio de compactação seguiu o procedimento descrito na NBR 6457/96.

Os ensaios de compactação com o solo e com as misturas de solo e resíduo foram realizados conforme a NBR 7182/1986. As curvas de compactação das amostras foram obtidas aplicando-se a energia de Proctor Normal, sendo utilizado um cilindro pequeno no qual colocou-se o solo ou o solo-resíduo em três camadas, sendo que para cada camada aplicou-se 26 golpes.

A Figura 9 abaixo demonstra as energias de compactação aplicadas para cada caso e cada cilindro.

Figura 9. Energias de Compactação

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: Adaptado NBR 7182/86.

4.2.3 Ensaios de Cisalhamento Direto

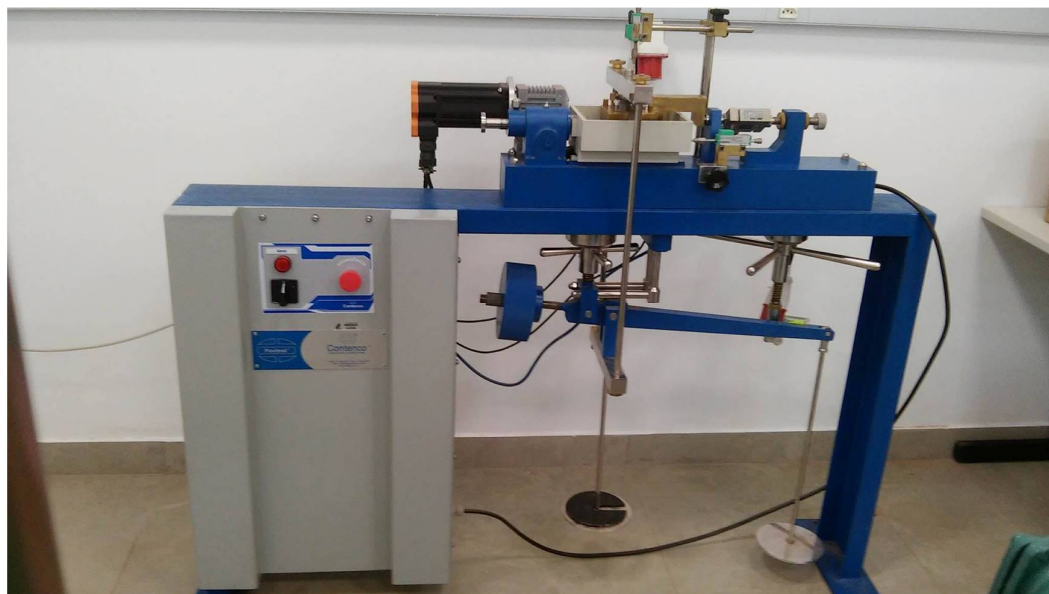
As amostras utilizadas nos ensaios de cisalhamento direto foram corpos de prova prismáticos de 5,0 x 5,0 x 2,0 cm de solo compactado com teores de 0, 25, 50 e 75% de RCD moldados na umidade ótima e densidade máxima obtidos no ensaio de compactação para a energia do Proctor Normal. Todos os ensaios foram realizados em condições de saturação, ou seja, com a amostra submersa em água no mínimo 24 horas antes do início do ensaio, e com velocidade de cisalhamento de 0,02 mm/min. Os ensaios de cisalhamento direto foram executados com as tensões normais de 50, 100, 150, 200 e 400 kPa.

Vale observar que foi selecionada classe de saturação pois esta representa a pior condição que o solo poderia estar exposto.

Este ensaio consistiu em uma caixa dividida em duas partes onde a amostra é colocada, a parte inferior é fixa e a parte superior movimentada-se devido uma força tangencial aplicada, provocando seu deslocamento, medindo-se assim a força suportada.

A técnica foi realizada no equipamento de cisalhamento direto em solos marca PAVITEST e as leituras dos dados foram feitas com o *Software Pavitest Cisalhamento*, que se encontra no laboratório (Figura 10).

Figura 10. Aparelho para ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A partir dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto foi possível obter-se os parâmetros de resistência, ou seja, coesão e ângulo de atrito. Também pode-se conhecer o comportamento tensão x deslocamento horizontal e deslocamento vertical x deslocamento horizontal de cada material.

4.2.4 Ensaios de Compressão Simples

Os ensaios de resistência à compressão simples seguiram os procedimentos das normas NBR 12770/1992 e NBR 12025/2012 MB 3361/1990 e auxílio de uma máquina de ensaio da marca SOLOTEST. As amostras foram moldadas em triplicata para cada dosagem, sendo a moldagem dos corpos de prova a serem utilizados para os ensaios em função dos parâmetros dos corpos de prova dos ensaios de compactação Proctor Normal, ou seja, massa específica aparente seca máxima e teor de umidade ótimo. Foram utilizados, para os ensaios de compressão simples, corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro.

Durante a realização do ensaio, foram tomadas medidas do diâmetro e da altura de cada corpo de prova através de um paquímetro com precisão de centésimo de milímetro.

Este ensaio foi realizado através do rompimento dos corpos de prova, utilizando uma prensa hidráulica. O corpo de prova foi colocado na prensa entre os discos, quando se teve início a aplicação de carga. Esta carga foi aplicada de forma contínua, com aumento de tensão

média sobre o corpo de prova até que a ruptura do corpo de prova fosse alcançada. A carga foi obtida por intermédio de leituras no anel dinamométrico e as deformações através de leituras no defletômetro.

Conforme Figura 11, pode-se observar o aparelho utilizado para ensaio de compressão simples.

Figura 11. Aparelho para ensaio de Compressão Simples



Fonte: Elaborado pela autora, 2017

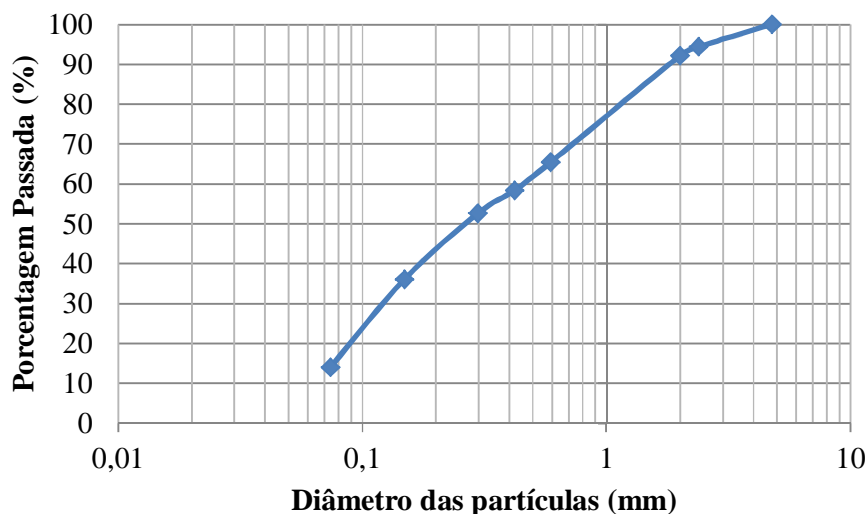
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados obtidos como a curva granulométrica, curvas de compactação e os ensaios de cisalhamento direto e compressão simples.

5.1 ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS

Com base nas normas já descritas, pode-se obter a curva granulométrica do RCD através do uso de peneiras, conforme Figura 12.

Figura 12. Curva Granulométrica do Resíduo da Construção Civil

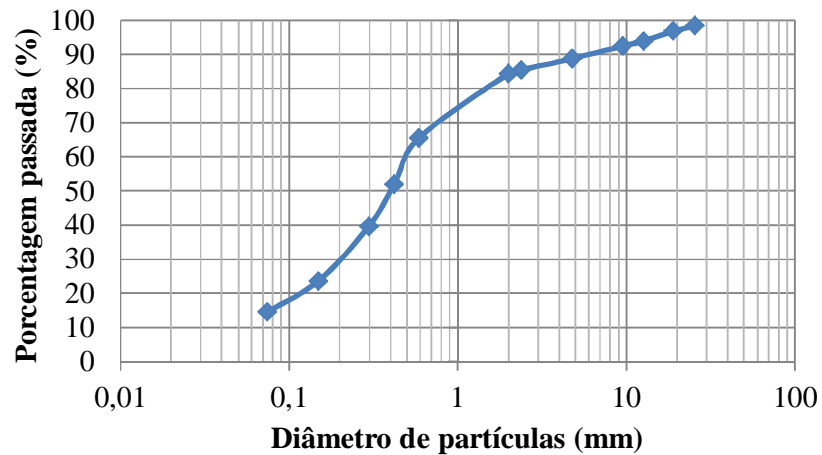


Podemos observar que a curva granulométrica fica constituída basicamente por areia fina e areia média, com um percentual maior para areia fina que compreende o intervalo de 0,06 mm a 0,2 mm, sendo essa porcentagem próxima dos 45%, segundo a NBR 6502/95.

O que diferiu a porcentagem retida da porcentagem passante, é que a porcentagem retida é aquela parcela que ficou retida numa determinada peneira. Obteve-se esse percentual, quando se conheceu o peso seco da amostra, depois pesou-se o material retido, dividiu-se este pelo peso seco total e multiplicou-se por 100. Já a porcentagem passante é aquela que passou em cada peneira, referindo-se ao peso seco da amostra.

Quanto ao perfil granulométrico do solo, este pode ser acompanhado conforme Figura 13.

Figura 13. Curva Granulométrica do Solo

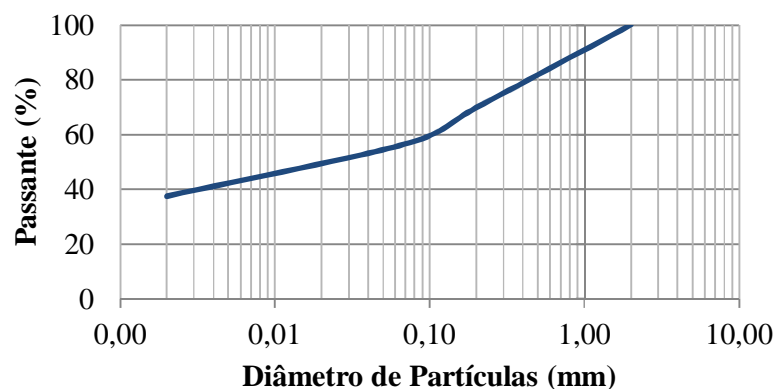


Pelo ensaio granulométrico o solo apresenta um percentual de silte e argila próximos a 12%, 73% de areia e 15% pedregulhos.

Como a análise pela curva granulométrica muitas vezes as partículas podem manter-se presas e de alguma forma interferir no resultado real das porcentagens constituintes do solo. Desta forma, utilizou-se o estudo de PIVETTA, CASTRO E VENDRUSCOLO (2017), onde consta uma análise granulométrica pelo método da pipeta para o local onde foi coletado o solo desta pesquisa.

Este método da pipeta foi adaptado pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria/RS, podendo ser utilizado para solos com menos de 5% de matéria orgânica (FÍSICA DO SOLO UFSM, 2015). Os resultados obtidos por este método de análise para as areias, silte e argila podem ser observados na Figura 14 a seguir.

Figura 14. Curva granulométrica do solo pelo método da pipeta



Fonte: Pivetta, Oliveira e Vendruscolo (2017).

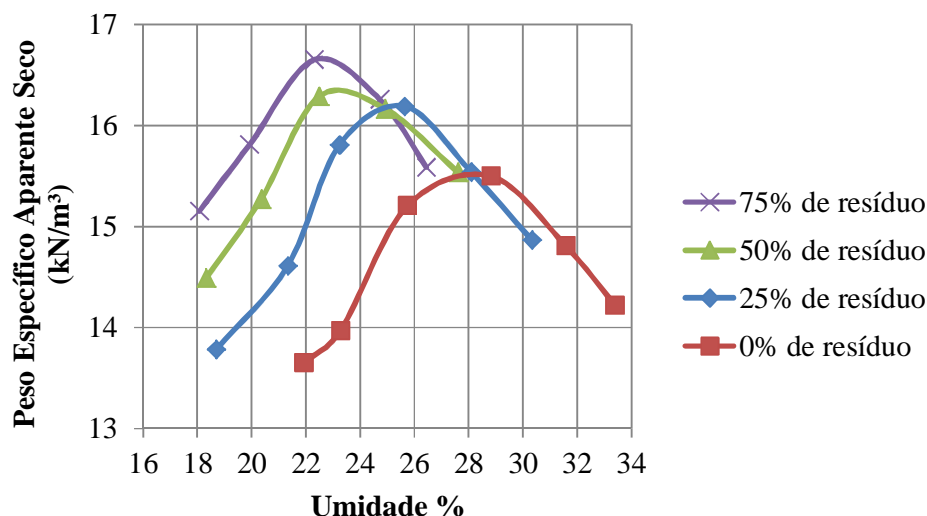
Pode-se observar que neste solo predominam as partículas finas, argila e silte, seguido de areia fina a média, com muito pouca areia grossa, sendo que o ponto em questão apresenta uma percentual de cerca de 40% de areias, e o restante corresponde a 34% de argila e 25% de silte.

Segundo Pivetta, Castro e Vendruscolo (2017) essa diferença se dá, pois ao ser adicionado o NaOH junto a amostra de solo e passar pelo processo no dispersor, as partículas que antes estavam presas acabam por se soltarem totalmente, mudando assim o resultado final e possibilitando uma melhor caracterização do solo.

5.2 ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

Os ensaios de compactação foram realizados de acordo com a NBR 7182/86 utilizando-se os teores de resíduo de 0%, 25%, 50% e 75%. Conforme mostra a Figura 15, com os resultados tornou-se possível obter a umidade ótima e o peso específico aparente seco máximo de cada material.

Figura 15. Curvas de compactação



Os dados da Figura 15 podem ser observados na Tabela 2. Pela figura percebeu-se a variação da densidade e da umidade conforme o aumento do resíduo. Observou-se, que a adição do resíduo em estudo reduziu o valor da umidade ótima, sendo isto positivo para as propriedades do solo. Já no peso específico notou-se um aumento, pois quanto mais pesado, mais compacto será o material e isto terá influência positiva na resistência à compressão simples e na absorção de umidade.

Neste ensaio, no qual obtém-se como resultado a umidade ótima para a máxima massa específica aparente seca, determina-se a umidade ótima de compactação onde a resistência seria maior devido à máxima compactação do material.

Tabela 2. Umidade ótima e peso específico máximo

% de Resíduo	Umidade Ótima (%)	Peso Específico Aparente Seco Máximo (kN/m ³)
0	28,82	15,50
25	25,64	16,19
50	22,48	16,28
75	22,31	16,65

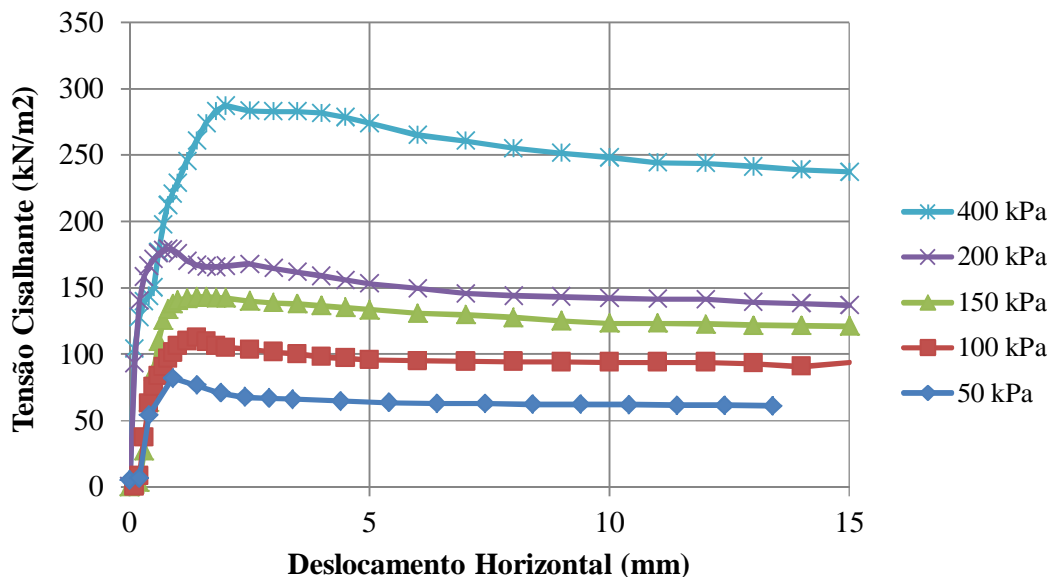
Novamente analisando a Tabela 2, foi possível concluir que houve um aumento do peso específico aparente seco máximo conforme se aumentou o teor de resíduo na mistura, isso se deve ao fato da massa específica do RCD ser maior que a do solo. Notou-se também que à medida que se aumenta o teor de resíduo na mistura, a umidade ótima tende a diminuir. Isso ocorre pelo fato que o agregado de RCD tem uma superfície específica menor que a do solo, resultando assim, que as misturas com maior quantidade de solo absorvem mais água e as com maior quantidade de resíduo consomem menos água.

5.3 ENSAIOS DE CISALHAMETO DIRETO

A partir de ensaios de cisalhamento direto determinou-se os parâmetros de resistência e assim pode-se conhecer o comportamento tensão *versus* deslocamento horizontal e deslocamento vertical x deslocamento horizontal de cada material.

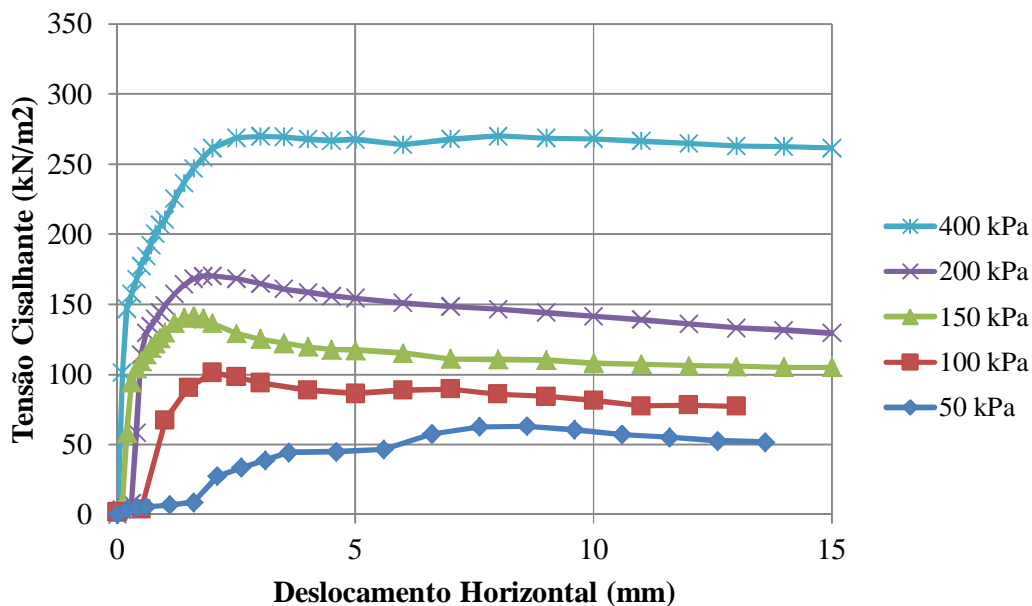
Para cada porcentagem de resíduo utilizada tem-se um gráfico mostrando o comportamento perante as tensões aplicadas.

Figura 16. Tensão x Deslocamento Horizontal para 0% RCD



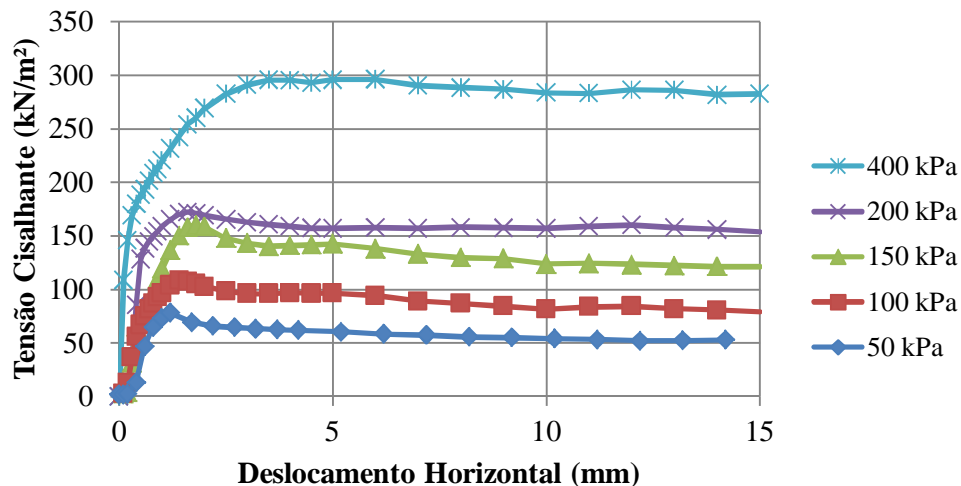
Como pode ser observado pela Figura 16, para o ensaio de cisalhamento direto sem acréscimo de RCD, para as tensões normais de 400, 200, 150, 100, 50 (kPa), as tensões cisalhantes máximas correspondem a aproximadamente 287, 179, 143, 112 e 82 (kN/m²), respectivamente.

Figura 17. Tensão x Deslocamento horizontal para 25% RCD



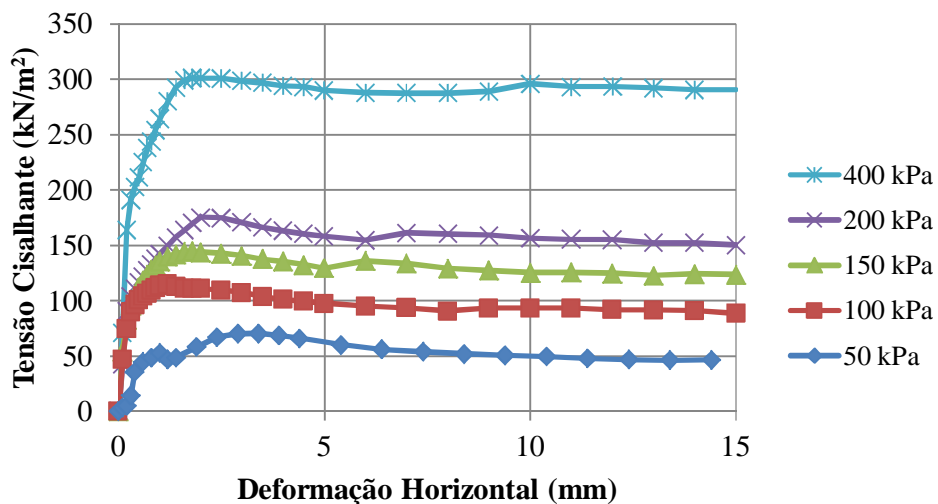
Para o ensaio de cisalhamento direto com acréscimo de 25% RCD apresentado na Figura 17, para as tensões normais de 400, 200, 150, 100, 50 (kPa), as tensões cisalhantes máximas correspondem a aproximadamente 270, 170, 141, 101 e 63 (kN/m²), respectivamente.

Figura 18. Tensão x Deslocamento horizontal para 50% RCD



Na Figura 18, para o ensaio de cisalhamento direto com acréscimo de 50% RCD, para as tensões normais de 400, 200, 150, 100, 50 (kPa), as tensões cisalhantes máximas correspondem a aproximadamente 295, 172, 160, 108 e 78 (kN/m²), respectivamente.

Figura 19. Tensão x Deslocamento horizontal para 75% RCD



Para a Figura 19, no o ensaio de cisalhamento direto com acréscimo de 75% RCD, as tensões normais de 400, 200, 150, 100, 50 (kPa) as tensões cisalhantes máximas correspondem a aproximadamente 301, 175, 145, 115 e 70 (kN/m²), respectivamente.

De modo geral, observando os gráficos das Figuras 16 a 19, pode-se perceber que geralmente para as tensões normais maiores tem um comportamento sem pico, pois tendem a manter uma ruptura não tão frágil. Já as tensões menores apresentam um certo pico, pois tem uma queda maior da resistência.

Percebeu-se que à medida que a carga ou pressão aumenta, o material resiste, deformando-se relativamente pouco. No caso das tensões menores, a ruptura aconteceu quase que bruscamente. Geralmente, quando a ruptura é atingida, o solo desloca-se passando então do estado elástico ao estado plástico. O deslizamento superficial ocorreu devido às tensões de cisalhamento serem maiores que a resistência ao cisalhamento do solo.

Pode-se observar que em todas as amostras as tensões cisalhantes são crescentes ao longo do deslocamento até atingir a tensão de pico e que em geral, há uma tendência em aumentar a tensão cisalhante máxima à medida que há um acréscimo do confinamento do material com incrementos de tensões normais.

Contatou-se também que a tensão de cisalhamento aumentou com a adição de 50% e 75% de resíduo para a tensão normal de 400 kPa em comparação ao solo sem resíduo. Por outro lado, para as demais tensões normais e para os diferentes teores de resíduo não foi possível perceber variações significativas nas tensões cisalhantes.

Com os dados do ensaio de cisalhamento direto também foi possível obter os gráficos de deslocamento horizontal *versus* deslocamento vertical. Através destes, pode-se observar o deslocamento vertical durante o ensaio para saber se houve diminuição ou aumento de volume durante o cisalhamento. Com os deslocamentos resultantes, tornou-se possível identificar a tensão de ruptura que os corpos de prova podem suportar.

Figura 20. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 0% RCD

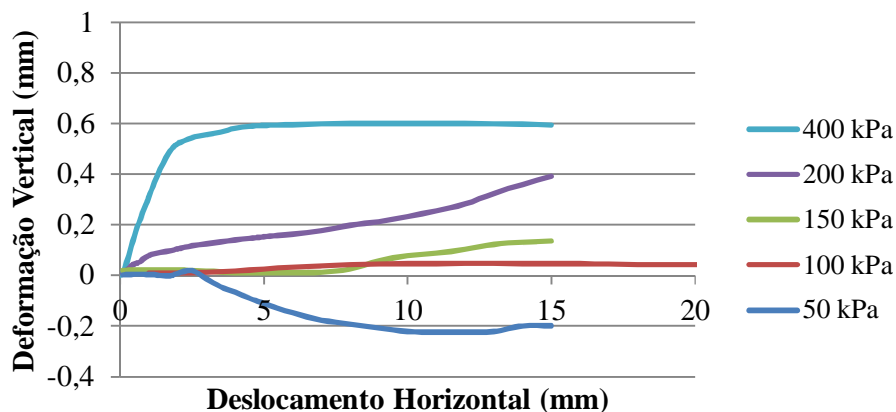


Figura 21. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 25% RCD

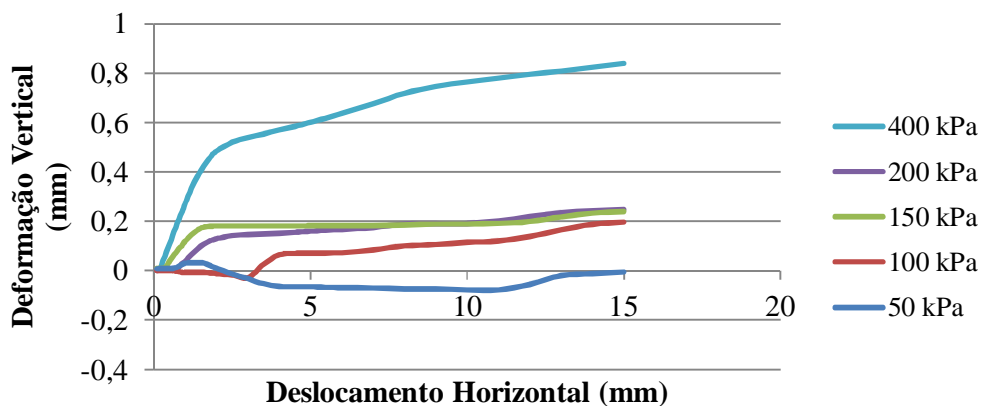


Figura 22. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 50% RCD

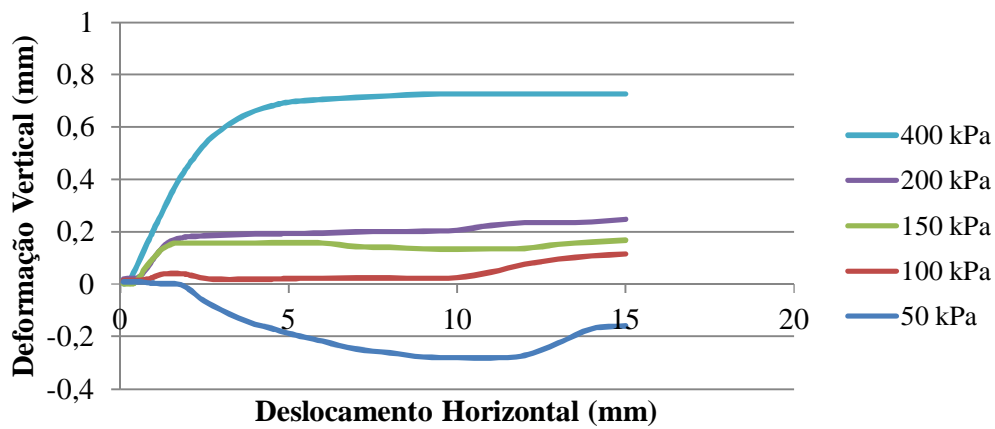
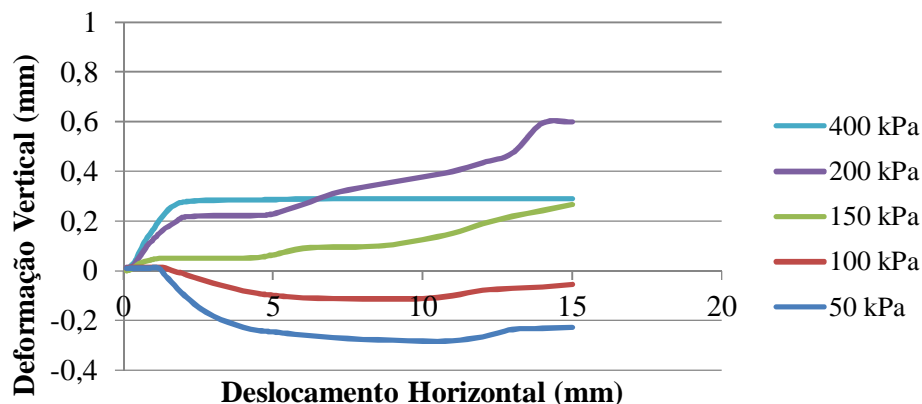


Figura 23. Deslocamento horizontal x deslocamento vertical para 75% RCD



Assim, de uma maneira geral, nas Figuras 20 a 23 pode-se observar que para tensões maiores a amostra comprimiu e para as tensões menores ocorreu uma expansão, no início dos ensaios.

A partir dos dados de tensão cisalhante e tensão normal de cada porcentagem de resíduo, pode-se criar gráficos e obter retas lineares. Os coeficientes de determinação (R^2) deve estar o mais próximo possível de 1,00 para que represente um verdadeiro ajuste linear estando este diretamente ligado à confiabilidade dos resultados obtidos no ensaio de compactação. Todos os gráficos apresentaram um coeficiente de correlação linear maior que 0.98, o que pode ser considerado bom, conforme apresentado nas Figuras 24 a 27.

Figura 24. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 0% RCD

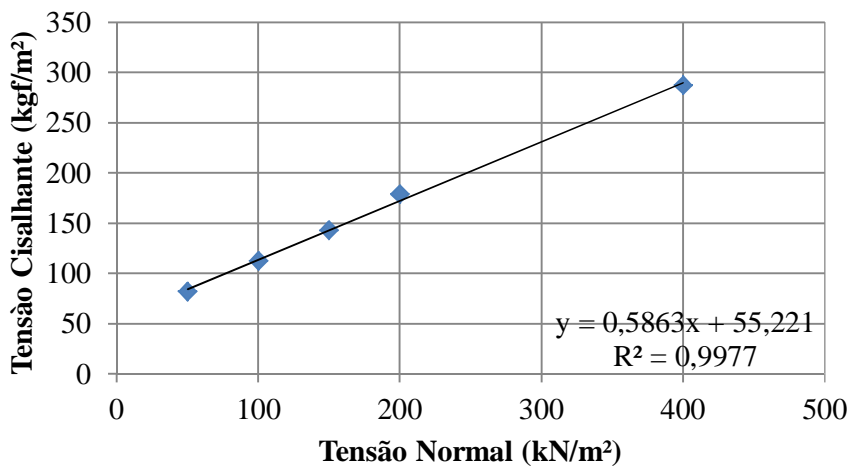


Figura 25. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 25% RCD

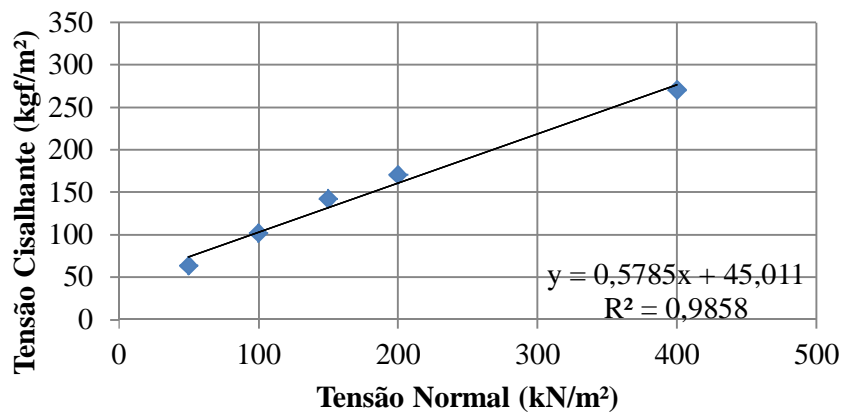


Figura 26. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 50% RCD

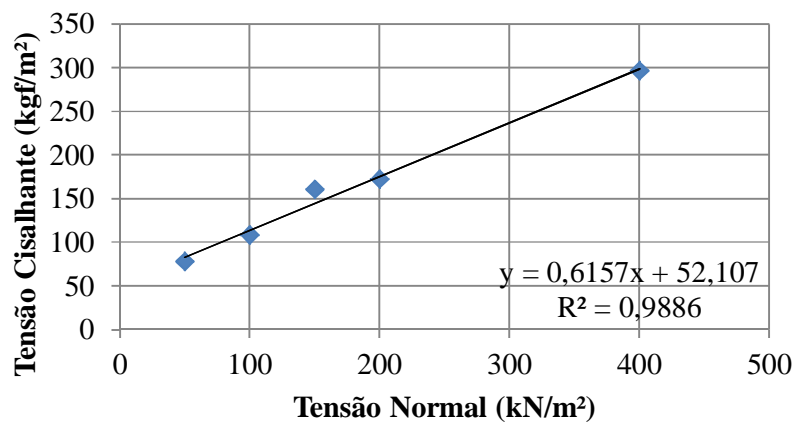
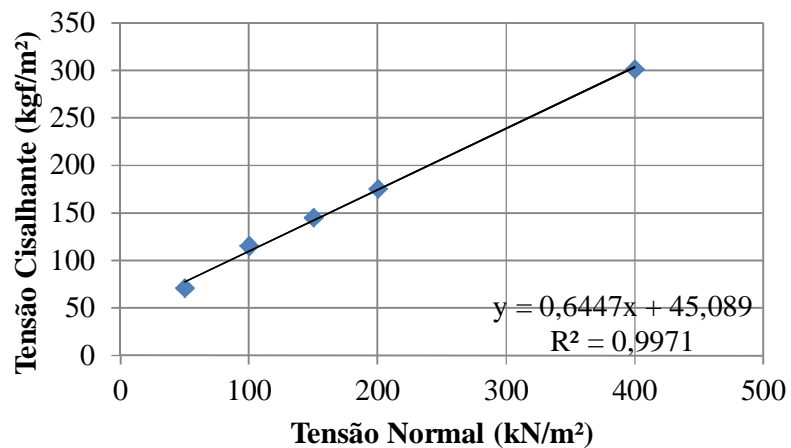


Figura 27. Tensão Cisalhante x Tensão normal para 75% RCD



A partir dos gráficos de tensão cisalhante x tensão normal, pôde-se obter o ângulo de atrito interno e os valores de coesão para cada porcentagem de RCD. Estes podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Ângulo de atrito e coesão

RCD	Ângulo de atrito interno (°)	Coesão (kPa)
0%	30,38	55,22
25%	30,05	45,01
50%	31,54	52,11
75%	32,81	45,09

Assim, com estes dados da Tabela 3 analisamos que o ângulo de atrito interno aumentou com o acréscimo da porcentagem de RCD. Para a coesão, houve um decréscimo nos valores, embora não tenham seguido um padrão.

Pelo fato de não ter-se obtido um decréscimo na coesão, considera-se a possibilidade de algum erro experimental, visto que as amostras não foram realizadas em triplicatas. Sugere-se que em próximas pesquisas, seja feita a repetição destes ensaios para concluir-se de modo mais preciso os resultados.

De todo modo, o ângulo de atrito interno aumentou e a coesão diminuiu principalmente devido à influência da granulometria do resíduo, já que é um material mais arenoso, diferentemente do solo, que é composto por material fino.

5.4 ENSAIOS DE COMPRESSÃO SIMPLES

Para os ensaios de resistência à compressão simples, gerou-se um gráfico representativo para o solo e para as misturas de solo-resíduo. Estas podem ser observadas pelas Figuras 28 a 31.

Figura 28. Curva de resistência a compressão simples para 0% RCD

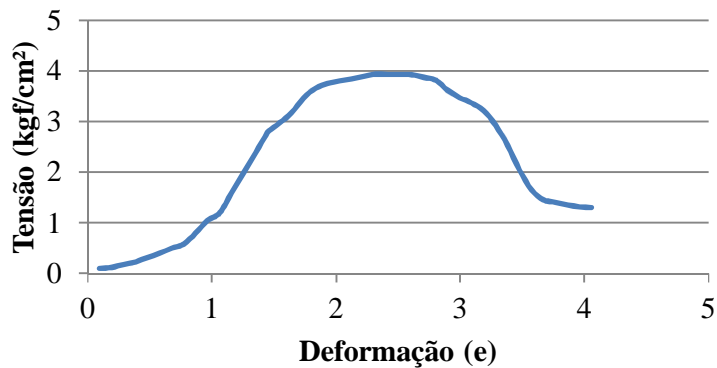


Figura 29. Curva de resistência a compressão simples para 25% RCD

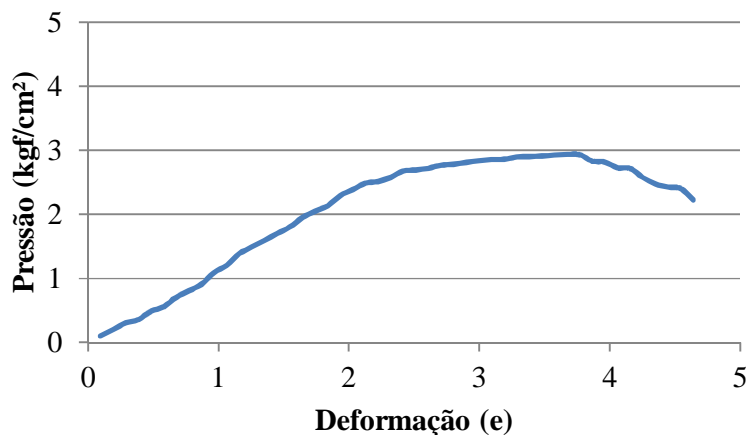


Figura 30. Curva de resistência a compressão simples para 50% de RCD

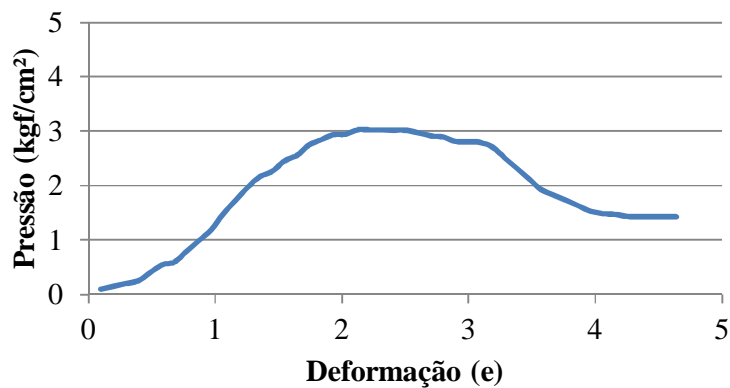
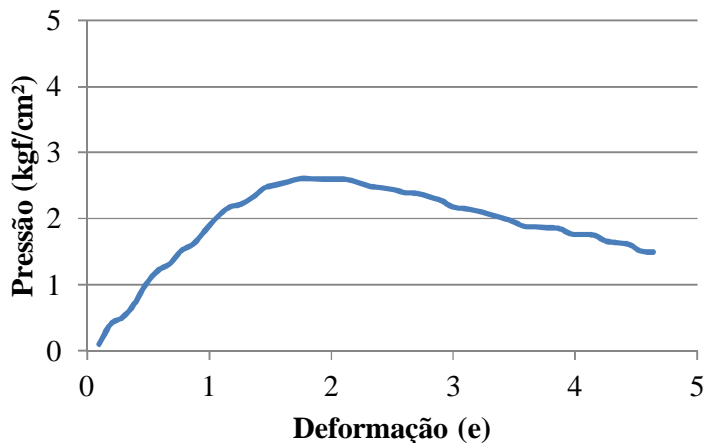


Figura 31. Curva de resistência a compressão simples para 75% de RCD



A partir dos resultados determinados pelo ensaio de compressão simples, percebeu-se que a pressão suportada para a mistura de solo pura foi de 3,93 kgf/cm², para a mistura de 25% de solo-resíduo 2,93 kgf/cm², 50% de 3,03 kgf/cm² e 75% de 2,60 kgf/cm² consecutivamente.

Segundo Souza Pinto (2006) um fator que possa justificar essa diminuição da resistência à compressão simples se comparado a outros ensaios seria que, a resistência à compressão simples é ligeiramente menor com a redução da altura do corpo de prova e sendo um ensaio não-drenado o volume se mantém constante, portanto há um aumento na área transversal do corpo de prova.

Assim, isto introduz tensões de tração nas bordas do corpo de prova que não são resistidas, abrindo-se fissuras ao longo de geratrizes do corpo de prova, através das quais as tensões efetivas não se transmitem.

Ainda, alguns dos resultados determinados pelo ensaio de compressão simples são função da umidade do material. Isto porque o valor de resistências medidos, por exemplo, são dado por duas componentes: uma pela coesão verdadeira e outra pela coesão aparente. Para os solos mais secos pode-se observar um maior efeito da coesão aparente do que para solos mais úmidos.

A velocidade de deformação do corpo de prova também pode ser maior para alguns tipos de solo, como no caso dos classificados como moles, que apresentam grande deformação sob a aplicação de carga, e menor para solos duros e quebradiços, que apresentam deformação pequena sob a aplicação de carga. Pode-se citar também alguns problemas neste ensaio tais como, impossibilidade de controle das condições como umidade e até mesmo ajuste da pressão, o efeito do atrito nas extremidades, efeito da amostragem e do molde.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi possível verificar que o reaproveitamento de resíduos de construção e demolição deve ser visto além de, como uma ajuda para propiciar melhorias do ponto de vista ambiental, um possível freio para a demanda excessiva de matéria prima que acaba por ser uma alternativa economicamente vantajosa. Os resultados desta pesquisa serviram como parâmetro para a combinação dos resíduos de construção e demolição com solo argiloso compactado de forma a compor um novo material que pode ser utilizado como base de fundações superficiais ou como aterros para a construção de estradas.

Com a compactação se almeja obter um solo com aumento de resistência e uma redução de compressibilidade e permeabilidade. Isso pode ser obtido com procedimentos rigorosos e bem feitos, evitando possíveis incidentes em obras de grande escala, por exemplo.

Quanto a resistência ao cisalhamento do solo, soube-se que ela é uma das propriedades fundamentais do comportamento do solo, o que torna de suma importância este estudo para poder analisar as tensões e ao quanto a resistência pode ser limitada. Isso resulta no conhecimento da estabilidade das mais variadas obras, sejam elas naturais ou antrópicas.

Se o RCD receber a atenção e estudos necessários, pode ser sim usado como agregado para a construção de aterros. Provou-se que o resíduo junto ao solo compactado, se nas condições ideais e com as medidas certas, pode ser de grande valor na engenharia.

Ainda, percebeu-se que o problema da determinação da capacidade de carga dos solos é muito importante na área de construção civil, particularmente para o desenvolvimento de projeto de fundações. Assim, estudos que apliquem a teoria e a prática e visem a obtenção de resultados e condições finais para aplicações de RCD junto a solos compactados, além de serem uma forma de mitigar impactos ambientais e reduzir a extração de matéria prima, tem uma ampla e eficiente aplicação em fundações superficiais.

Concluiu-se assim, que as características do solo natural são tipicamente argilosas e do solo resíduo uma composição de tijolos, concreto e argamassas. Os valores da resistência ao cisalhamento com adição de RCD foram boas, pois conforme houve o aumento da porcentagem solo-resíduo houve um aumento na resistência cisalhante. Quando a compressão simples, percentuais de 25% e 50% se mostraram bons quando comparados ao solo natural, mostrando que é possível introduzir teores de resíduo sem perder a qualidade.

7. REFERÊNCIAS

ACHTERBERG, Henrique Arthur. **Estudo sobre a aplicação da classificação geotécnica MCT para um solo residual de Santa Cruz do Sul-RS**. Universidade de Santa Cruz do Sul. Curso de Engenharia Civil. Santa Cruz – RS, 2014.

ALCANTARA, Cícero Alves de. **Reutilização de resíduos sólidos da construção civil**. 2005. 83 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

AMORIM, Enio Fernandes. **Viabilidade técnica econômica de misturas de solo-RCD em camadas de base de pavimentos urbanos. Estudo de caso: município de Campo Verde – MT**. Universidade De Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília - DF, Dezembro de 2013.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Eduardo; JOHN, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, 2003.

ANTAS, Amélia Manguiera. **Compactação de solos**. 2016. Arquivo digital. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/7776504/>> Acesso em: 15 Out. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Agosto 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: Rochas e Solo. Setembro 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**. Solo cimento. Ensaio de Compressão Simples de Corpos de Prova Cilíndricos. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12770**: Solo coesivo. Determinação da resistência à compressão não confinada. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 7181**: Solo- Análise Granulométrica. Dezembro 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR: 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Agosto 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Ensaio de Compactação. Agosto 1986.

BERNARDES, Alexandre; THOMÉ, Antonio; PRIETTO, Pedro Domingos Marques; ABREU, Águida Gomes. **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n.3, p. 65-76, jul./out. 2008.

BERNARDI, J. **Caracterização de jazidas de solo residual de basalto visando seu emprego em barragens de terra**. 2006. 159 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Engenharia Civil), Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 307**, de 5 de julho de 2002.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão Bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Revista Cerâmicas 61**. p. 178-189. Piauí, 2015.

CIPRANDI, Maria Angela de Souza. **Avaliação laboratorial do efeito da adição de cimento portland em termos de resistência a compressão simples (rcs) em solo da região de Santa Rosa-RS**. Unijui, Santa Rosa, 2016.

DENARDIN, Aline Pereira. **Estudo do comportamento mecânico de um solo saprolítico de basalto de Teutônia, RS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Maio de 2005.

FERREIRA, D. D.M.; NOSCHANG, C. R. T.; FERREIRA, L. F. **Gestão de Resíduos da Construção Civil e de Demolição: Contribuições para a Sustentabilidade Ambiental**. V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Niterói, RJ, 2009.

FERREIRA, Matheus de Conto. **Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto**. Universidade de Passo Fundo, UPF. Passo Fundo, 2010.

FERREIRA, Matheus De Conto; THOMÉ, Antônio. **Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.18, p. 1-12, Nov. 2011.

FILHO, João Alexandre Paschoalin; CARVALHO, David. Compactação planejada. Universidade Nove de Julho/SP. Unicamp. **Revista Cultivar Máquinas**, nº 21. Maio/Junho 2003.

FLIEGNER, Ana Paula. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Santa Rosa, 2015.

Geotecnia e Fundações. **Compactação de solos**. 2017. Arquivo digital. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/geotecniaefundacao/terraplenagem/compactacao-de-solos>> Acesso em: 15 mai. 2017.

HORTEGAL, Mylane Viana; FERREIRA, Thiago Coelho; SANT'ANA, Walter Canales Sant'Ana. Utilização de agregados resíduos sólidos da construção civil para pavimentação em são luís – MA. **Pesquisa em Foco**, v. 17, n.2, p. 60-74, 2009.

IBGE. **Manual técnico de pedologia - manuais técnicos em Geociências número 4**. 2.ed. Rio de Janeiro. 2007, 316 p. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/downloads/manual%20t%C3%A9cnico%20de%20pedologia.pdf>> Acesso em: 17 out. 2017.

KRAINER, Christiane Wagner Mainardes. **Noções de Resistência à Compressão**. UFPR, Paraná, 2017. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/c/ce/Aula_6_Resistencia.pdf> Acesso em: 16 Out. 2017.

LABGEO. **Resistência ao Cisalhamento**. Laboratório de Geotecnia, Departamento de Engenharia. Universidade Federal de São Carlos. 2017. Arquivo digital. Disponível em: <<http://www.labgeo.ufscar.br/ensaios.php?item=7>> Acesso em: 15 mai. 2017.

Lagrega, M.D.; Buckingham P.L.; Evans, J.C. **Hazardous waste management and environmental resources management**. 2nd Edition, 1157 p. 2001.

LIMA, Stela Lopes. **Capacidade de suporte de fundações superficiais apoiadas em camadas de areia de fundição**. 2015. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2015.

Manual Básico de Compactação de Solo. MULTIQUIP. Arquivo digital. Disponível em: <http://www.multiquip.com.br/imagens/catalogo/Catalogo_Compacta%E7%A6odeSolo_20050822132416.pdf> Acesso em: 12 jul 2017.

MARANGON, M. **Capacidade de carga dos solos**. Faculdade de Engenharia – NuGeo. 2009.

MARANGON, M. **Resistência ao cisalhamento dos solos**. Faculdade de Engenharia – NuGeo/Núcleo de Geotecnia. Novembro de 2009. Arquivo digital. Disponível em:<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/ms2_unid05-P1.pdf> Acesso em: 15 mai. 2017.

OLIVEIRA, Danielle Martins Cassiano; COSTANZI, Ricardo Nagamine. **Índice de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p.2628, 2014.

OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga; MENDES, Osmar. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: Estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA**. UCG, Goiânia, Jun. 2008.

PEREIRA, Paulo Miguel; VIEIRA, Castorina Silva. **Resíduo de Construção e Demolição. Um estado de arte visando a sua valorização em trabalhos geotécnicos**. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto (FEUP). Outubro, 2013.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. Tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p.

PINTO, Tarcísio de Paula; GONZÁLES, Juan Luís Rodrigo. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Manejo de resíduos: Como implantar um sistema de manejo e gestão dos resíduos da construção civil nos municípios. Brasília: Caixa, 2005. cap. 1, 212 p.

PIVETTA, Carlise Patrícia Pivetta; CASTRO, Franciele Oliveira; VENDRUSCOLO, Márcio Antônio. **Determinação das propriedades geotécnicas do solo do Campus da UFFS**. Anais Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica. Universidade Federal da Fronteira Sul. Cerro Largo, 2017.

Plano Municipal de Saneamento Básico, Relatório Técnico Final. Prefeitura de Cerro Largo, Estado do Rio Grande do Sul. Cerro Largo, Julho de 2012.

Prefeitura Municipal de Santa Rosa. Disponível em:<<http://www.santarosa.rs.gov.br/index2.php>> Acesso em 30 Out. 2017.

RAMOS, Matheus Lutz. **Fatores que afetam a resistência à compressão simples (rcs) de misturas de fresado asfáltico, solo laterítico e cimento portland.** Departamento de Engenharia Civil, UFRGS- Porto Alegre, 2016.

REINERT, Dalvan José. REICHERT, José Miguel. **Propriedades físicas do solo.** Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, Maio de 2006.

SANTOS, E. C.G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** Dissertação(Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

SANTOS, Jaime A. **Compactação. Elementos Teóricos.** Instituto Superior Técnico, Fevereiro de 2008.

SANTOS, V. R. F. **Análise do desempenho de Pisos táteis, Intertravados, Produzidos com Agregados de Resíduos de Construção Civil – RCC e Fibras de Aço.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2014.

SILVEIRA, Geraldo Tadeu Rezende. **Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos, como base para uma gestão ambiental. Estudo de caso: Entulhos da construção civil em Campinas – São Paulo.** Tese de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 1993.

SOUZA PINTO, Carlos. **Curso Básico de mecânica dos Solos.** 3º Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SPADOTTO, Aryane; BATISTA, Geovani Rafael. **Destinação dos resíduos da construção civil em Xanxaré, Santa Catarina, Brasil: Possibilidades para um fim mais sustentável.** Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Oeste de Santa Catarina, Xanxaré, Santa Catarina, 2014.

TÍMBOLA, Rafael de Souza. **Condutividade hidráulica de misturas solo-cimento compactadas submetidas à ação de lixiviados ácidos em ensaios de longa duração.** UPF, Passo Fundo, 2014.

TORRES GEOTECNIA. **Ensaio de compressão simples.** Minas Gerais, 2017. Arquivo digital. Disponível em: < <http://www.torresgeotecnia.com.br/portfolio-view/ensaio-de-compressao-simples/>> Acesso em 30 out. 2017.

VIECILI, Cristiano. **Determinação dos parâmetros de resistência do solo de ijuí a partir do ensaio de cisalhamento direto.** Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande Do Sul – Unijuí. Ijuí –RS, Agosto de 2003.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto.** Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP, 1997.