



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS –
FATECS
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

LEILA CRISTINA DE CAMARGOS MARTINS

MELHORIA DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA COM ADIÇÃO DA
FRAÇÃO FINA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
RECICLADO

BRASÍLIA-DF
2016



LEILA CRISTINA DE CAMARGOS MARTINS

**MELHORIA DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA COM ADIÇÃO DA
FRAÇÃO FINA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
RECICLADO**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e
Ciências Sociais Aplicadas – FATECS.

Orientação: Ivonne A. Gutiérrez Góngora, D.Sc.

**BRASÍLIA-DF
2016**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a equipe de laboratório o Centro Universitário de Brasília, pelo apoio e suporte na realização dos ensaios laboratoriais e pelo auxílio na obtenção e exame de resultados durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos de pesquisa do curso de engenharia civil iniciada em mesmo período dessa, com os quais partilhamos experiências e conhecimento e aos amigos de classe pelo incentivo.

Á minha família pelo incentivo, compreensão e carinho prestados em todas as etapas de realização do trabalho, incluindo-se a finalização do mesmo.

Á professora D.ra. Ivonne A. Gutiérrez Góngora e ao professor M.e. Jaime Obando Ante, por todo apoio e orientação no decorrer do trabalho e em especial na análise e compreensão de resultados.

Ao CNPq e ao UNICEUB pela oportunidade de desenvolver a pesquisa, agregando conhecimentos específicos e integrados ao curso de engenharia civil e nossa formação enquanto profissionais.

MELHORIA DO SOLO LATERÍTICO DE BRASÍLIA COM ADIÇÃO DA FRAÇÃO FINA DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO RECICLADO

Leila Cristina de Camargos Martins – UniCEUB, PIBIC-CNPq, aluno bolsista
leeilamartins@gmail.com

Ivonne A. Gutiérrez Góngora – UniCEUB, professor orientador
Ivonnegg_86@yahoo.com

A construção civil é sem dúvidas um setor com extenso consumo de materiais provenientes da natureza, sendo necessária a exploração ampla e contínua de rochas, metais, minerais, entre outros. O uso ininterrupto e em grande escala desses materiais torna a situação ambientalmente insustentável, isso por sua própria escassez e pelos recursos gerados. Tem-se que estes resíduos representam cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e causam ainda, diversos problemas relacionados a seu impacto social e econômico, afetando diretamente a população. A partir disso, é possível evidenciar a necessidade de gerenciamento e disposição correta dos resíduos da construção civil, buscando soluções principalmente ambientais, de qualidade e econômicas para este problema. Nesta pesquisa, foi utilizado resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R), em sua fração fina e oriundo do processo de demolição do Estádio Nacional de Brasília (Mané Garrincha) no ano de 2011. No trabalho foi investigado, as possíveis melhorias mecânicas do solo laterítico de Brasília, quando misturado com resíduos da construção civil. O objetivo da realização da mistura, é basicamente melhorar as características de solos laterítico que apresentam baixa capacidade de suporte. Estabeleceu-se diante dos aspectos citados algumas etapas de fundamental importância no desenvolvimento do trabalho, representadas pela caracterização dos materiais envolvidos, obtenção dos parâmetros de resistência para o solo a través do ensaio de cisalhamento direto, mistura e compactação dos corpos de prova e controle de cura em câmara úmida dos períodos de 0 dias, 7 dias, e 28 dias. Com os dados obtidos nos ensaios, foram realizadas comparações com o solo natural e verificados ganhos de resistência na mistura elaborada. Os resultados encontrados, mostram aumento da coesão e do ângulo de atrito na maioria das análises, o que garante benefícios ligados a melhoria na resistência do solo e a soluções de problemas ambientais gerados pelos resíduos da construção civil.

Palavras-chave: Características geomecânicas. Melhoria de solo. Resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R). Reciclagem.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
3.1. Solo Laterítico de Brasília.....	11
3.2. Resíduos de Construção e Demolição Reciclados.....	12
3.3. Aplicações Solo-RCD-R	15
3.4. Propriedades Geomecânicas dos solos	15
4. METODOLOGIA.....	17
4.1. Preparo dos Materiais.....	17
4.2. CARACTERIZAÇÃO.....	17
4.2.1. Caracterização solo natural	18
4.2.2. Classificação do RCD-R	20
4.3. REALIZAÇÃO DA MISTURA.....	21
4.3.1. Compactação dos corpos de prova para solo natural e mistura solo-RCD-R R 21	
4.3.2. Tempos de cura em câmara úmida	22
4.4. Verificação De Resistência Por Meio De Ensaio De Cisalhamento Direto ...	23
4.4.1. Solo natural.....	23
4.4.2. Mistura solo-RCD-R.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
5.2. Resultados das Misturas Solo-RCD-R.....	25
5.2.1. Mistura solo-RCD-R 0 dias	26
5.2.2. Mistura solo-RCD-R 7 dias	26
5.2.3. Mistura solo-RCD-R 28 dias	27
5.3. Comparativo de Resistência das amostras submetidas a distintos períodos de cura.	28
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	30
6.1 Conclusões.....	30
6.2 Sugestões para pesquisas futuras	30
REFERÊNCIAS.....	31

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Disposição dos solos tropicais e suas respectivas microestruturas	12
FIGURA 2 - Resíduo de construção e demolição	14
FIGURA 3 – Coleta do solo laterítico de Brasília utilizado na pesquisa	17
FIGURA 4 – Curva de distribuição granulométrica do solo	18
FIGURA 5 – Curvas de compactação do solo natural saturado	19
FIGURA 6 – Curva de distribuição granulométrica do resíduo	20
FIGURA 5 – Corpo de prova de solo- RCD-R executado em compactador automático	21
FIGURA 7 – Corpo de prova de solo- RCD-R	22
FIGURA 8A – Corpos de prova de solo natural e solo-RCD-R dispostos em caixa plástica utilizada como câmara úmida	22
FIGURA 8B – Relógio termo-higrômetro para controle de umidade	22
FIGURA 9 – Máquina de execução do ensaio de cisalhamento direto	23
FIGURA 10 – Gráfico de deformação lateral do solo em estado saturado	25
FIGURA 11 – Envoltórias de Mohr Coulomb para estado saturado	25
FIGURA 12 – Envoltória de Mohr Coulomb para a amostra de solo-RCD-R com cura de 0 dias	27
FIGURA 13 – Envoltória de Mohr Coulomb para a amostra de solo-RCD-R com cura de 7 dias	27
FIGURA 14 – Envoltória de Mohr Coulomb para a amostra de solo-RCD-R com cura de 28 dias	28
Figura 15 – Variação da coesão para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado	29
Figura 16 – Variação do ângulo de atrito para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado	17
Figura 17 – Comparativo do valor de resistência obtidos pelo método de Mohr Coulomb para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado	30

Figura 18 – Comparativo das envoltórias de Mohr Coulomb para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado 30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais	14
TABELA 2 – Resultados obtidos para o solo com o ensaio MCT	18
TABELA 3 – Propriedades relevantes do solo usado na pesquisa	18
TABELA 4 – Parâmetros encontrados para o solo com o ensaio de compactação	19
TABELA 5– Parâmetros geotécnicos do resíduo	20
TABELA 6 – Valores de coesão e ângulo de atrito do solo	25
TABELA 7 - Valores de ângulo de atrito e coesão das amostras	26
TABELA 8 – Tensão cisalhante em função das tensões normais aplicadas no solo e nas misturas solo-RCD-R	26

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIACÖES

RSU – Resíduos sólidos urbanos

RCD-R – Resíduo de construção e demolição reciclado

RCD - Resíduo de construção e demolição

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

LL – Limite de liquidez

IP – Índice de plasticidade

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

NBR - Norma Brasileira aprovada pela ABNT

T – Resistência ao cisalhamento

c' - Coesão

σ – Tensão normal ao plano

TAN Φ – tangente do ângulo de atrito

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

MCT – Classificação miniatura compactação tropical

LA' - Areia laterítica

LG' - Arenoso laterítico

HRB - Highway Research Board

ASTM - American Society for Testing and Materials

KPA - Quilo pascal

MP – Media plasticidade

MA – Muito alta

W% - Umidade em porcentagem

GS – Massa específica dos grãos

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade a construção civil enfrenta progressivas e significativas procura relacionadas ao desenvolvimento de novas técnicas e metodologias, afim de aperfeiçoar os processos construtivos e potencializar resultados. Comumente são encontrados solos que não correspondem a demanda de construção, então surge a necessidade de melhorar suas características gerais e principalmente seu comportamento mecânico. A intensificação dessas necessidades, surge do processo de crescimento dos centros urbanos, que precisam atender as diversas solicitações sociais, físicas e culturais de sua população. Além de outros fatores especiais que demandam construções cada vez mais desafiadoras do ponto de vista geotécnico. Assim, cresce também e de forma simultânea a produção e quantidade de resíduos gerados, dentre esses, os classificados pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA na resolução de nº307 do ano de 2002. Este órgão é o principal regulador no gerenciamento da política de meio ambiente, que conseqüentemente trata dos resíduos produzidos, tais como resíduo de construção civil e resíduo de demolição (RCD). Estes resíduos constituem uma grave problemática para a sociedade, sendo considerados de difícil disposição e contaminação especialmente visual.

Um problema facilmente encontrado quando se refere aos resíduos sólidos é a dificuldade de efetuar sua correta disposição, pois os aterros sanitários atuais possuem uma capacidade limitada de armazenamento. Considera-se que ainda que existisse espaço, levantam a necessidade de adequação do espaço. Isso porque esses materiais possuem propriedades diferentes dos demais resíduos, por outro lado, a implementação de novos aterros ou locais com capacidade de receber esse material implicaria na aprovação da população local, o que por si só já gera grandes transtornos. Além da burocracia e de todo o processo governamental e financeiro que envolveria essa ação. O RCD representa ainda, uma boa parcela de todos os resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos, gerando assim a grande preocupação com o descarte apropriado ou até mesmo sua reciclagem. Geralmente trata-se de grandes volumes e por isso o agravamento da situação, considerando sua própria complexidade e a degradação ambiental ocasionada, englobando diretamente a sustentabilidade e de certa forma os aspectos e danos socioeconômicos (Gómez, 2011).

Diante dos aspectos citados e relacionando o aproveitamento dos resíduos, encontra-se a possibilidade de uso do material devidamente reciclado e misturado ao solo. Procurando o aumento da resistência do mesmo por meio de suas partículas finas e material cimentício, bem como as reações pozolânicas e físico-químicas. Assim, torna-se provável a redução dos impactos produzidos e possivelmente a melhoria das propriedades geomecânicas, proporcionando ao solo maior capacidade de suporte. Desta forma, a pesquisa se divide em algumas etapas, na qual a primeira é a obtenção do solo natural retirado das quadras 703/704 da Asa Norte em Brasília-DF. O solo foi preparado, isto é, passou pelo processo de secagem e peneiramento afim de atribuir ao mesmo confiabilidade laboratorial e caracterizar o mesmo. Em outra etapa, foram realizados os ensaios do resíduo, obtido suficientemente britado e determinada suas características. Além de estabelecer teores ideais de material a ser misturado com o solo natural, com o intuito de melhorar as características mecânicas do solo.

Após a caracterização dos materiais, foram realizados ensaios para determinação dos parâmetros de resistência do solo, assim como também ensaios de adensamento do solo natural, verificados nos estados natural e saturado. Em seguida foram realizadas as compactações do solo e determinadas as umidades ótimas a serem trabalhadas. Posteriormente, foram elaboradas misturas com 15% de resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R) com solo e na energia modificada. As misturas permaneceram por tempos de 0 dias, 7 dias, e 28 dias em cura em câmara úmida, para avaliar a variação da resistência dos espécimes. Esse processo é semelhante a maneira como o concreto convencional desenvolve sua cura. Destaca-se que foi seguido um rigoroso controle de umidade, para sucessivamente submeter as misturas a ensaio de cisalhamento direto.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral

Verificar a aplicabilidade da utilização da fração fina de resíduo de construção e demolição reciclado (RCD-R), na melhoria das propriedades mecânicas do solo laterítico de Brasília.

Objetivos específicos

Determinar a percentagem ótima de material reciclado (RCD-R) para garantir um bom comportamento mecânico do solo laterítico.

Caracterizar o solo laterítico e o resíduo de construção e demolição reciclado a serem utilizados.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Solo Laterítico de Brasília

Os solos lateríticos, assim como os saprolíticos são considerados tipos de solos tropicais, resultantes basicamente da intemperismo físico e químico de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, devido às mudanças nas condições climáticas. A principal diferença entre estes solos se dá pela localização de suas camadas, sendo mais profundas para os saprolíticos e mais superficiais para os lateríticos. Isso permite que os solos consigam suportar os processos de intemperismo e mantenham ou não, as características das rochas de origem. No entanto, existem ainda diversas recomendações de classificações fundamentadas pela quantidade de sesquióxidos na composição, nas propriedades químicas e mineralógicas ou ainda nos aspectos físico-morfológicos (Rezende, 1999 apud Delgado, 2007).

Os solos tropicais lateríticos podem se constituir em residuais ou não, o que também indica sua capacidade de manter ou não as características da rocha de origem, no caso dos lateríticos residuais os materiais de origem são praticamente imperceptíveis (Fookes, 1997 apud Delgado, 2007). De acordo com o descrito por Nogami & Villibor em 1996, os solos lateríticos em geral possuem características tais

como cores avermelhadas, alaranjadas ou amareladas e composição mineralógica de poucos minerais resistentes ao intemperismo tropical. Basicamente representados pela presença de minerais de argila, alta permeabilidade, elevada capacidade de deformação e baixa capacidade de suporte. Segundo Santana & Gontijo (1987), determinam que os solos lateríticos apresentam pequena fração de areia grossa, elevados valores de limite de liquidez e índice de plasticidade, além dos altos teores de finos e baixa expansão.

Os solos argilosos lateríticos, são muito comuns no Brasil, possuem estrutura macro agregada, decorrente da ação cimentante de óxidos e de hidróxidos de ferro que agregam as partículas mais finas. Fatores mineralógicos como forma das partículas, composição mineralógica das partículas, índice de vazios, entre outros fatores, influenciam diretamente os parâmetros de resistência do solo. Os solos lateríticos são conhecidos por apresentam grandes potenciais de mudança em suas propriedades frente a presença de fatores climáticos, como condições de chuva, seca, entre outros.

Quando as condições de projeto não são satisfeitas pelas características do solo disponível, uma alternativa construtiva deve ser adotada. Cabe então estudar a opção de reforçar ou melhorar o solo. Esta técnica baseia-se em alterar as características do material, dando-lhe resistência e rigidez para viabilizar sua utilização em obras de engenharia. Tais características podem ser alcançadas aumentando-se sua densidade, através da compactação, ou adicionando-se um novo material que estabilize o solo quimicamente ou que o reforce (Reschetti, 2008).

A Figura 1 demonstra a disposição dos solos tropicais citados e suas respectivas microestruturas.

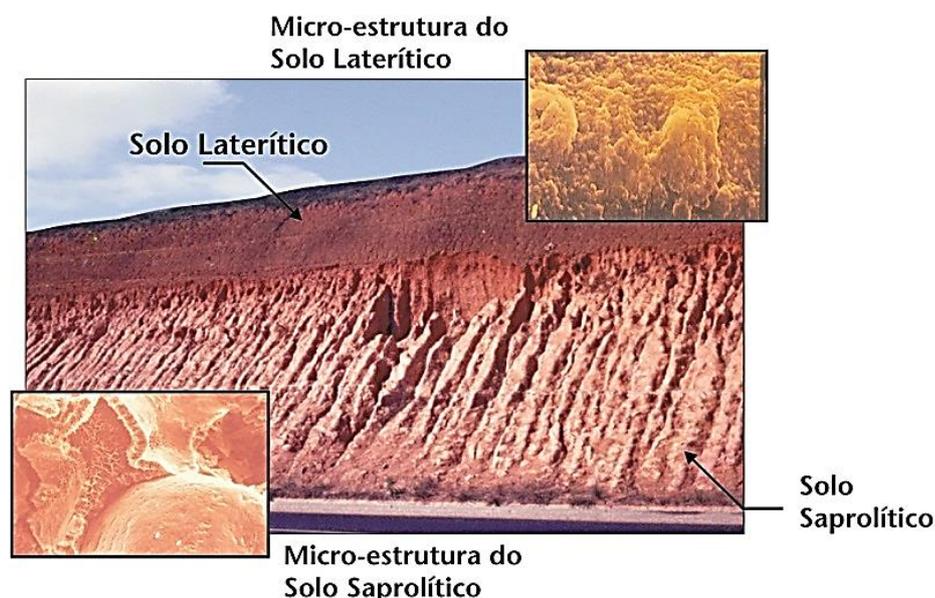


FIGURA 1 – Disposição dos solos tropicais e suas respectivas microestruturas

3.2. Resíduos de Construção e Demolição Reciclados

Segundo o CONAMA que define, classifica e estabelece os possíveis destinos finais dos resíduos da construção e demolição, considerando as definições da Lei de

Crimes Ambientais, de fevereiro de 1998 tem-se que “Resíduos da construção civil são: os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc. Estes resíduos são comumente chamados de entulho de obras metralha ou caliça”, ou definido por Levy (1997) apud Angulo (1998) como “sobras ou rejeitos constituídos por todo material mineral, oriundo do desperdício inerente ao processo construtivo adotado na obra nova ou de reformas ou demolições”.

Esse tipo de resíduo representa uma das maiores dificuldades da indústria da construção civil, em que parcelas consideráveis da grande quantidade de matéria prima utilizada como material de construção, se transforma em resíduo e tem seu descarte e reutilização inadequados ou inutilizados. Com o crescimento acelerado dos centros e atividades urbanas, os resíduos provenientes destas ações se somam e quando descartados em aterros despreparados interagem com a umidade das águas pluviais e outros elementos, contribuindo diretamente para a geração de chorume. Sendo este um líquido resultante do processo de decomposição, e atualmente apontado como o principal poluente de lençóis freáticos, além de oferecer sérios riscos à saúde.

A partir da década de 90, os resíduos sólidos de construção civil e demolição também conhecidos como RCD, começaram a ser objeto de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico em diferentes áreas da engenharia, segundo Pinto, 1999, o RCD representa, em média, 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos, tanto no Brasil como em outros países. O volume de entulho de construção e demolição gerado pode chegar a ser, até duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano. Em relação à quantidade de materiais estima-se que em um metro quadrado de construção de um edifício são gastos em torno de uma tonelada de materiais, demandando numerosas quantidades de cimento, areia e brita, assim, são gerados resíduos devido às perdas ou aos desperdícios nesse processo e mesmo que se melhore a qualidade do processo, sempre haverá perda e, portanto, resíduo.

Os principais resíduos produzidos por estas indústrias estão representados por materiais cerâmicos como rochas naturais, concreto, argamassas a base de cimento e cal, tijolos, telhas, cerâmica branca, gesso, entre outros. Na maioria dos casos estes resíduos são depositados clandestinamente, o que também ocasiona e grava os problemas de saúde pública, obstrução de drenagens, contaminação visual e ambiental, além de outros problemas de tipologia organizacional. A possibilidade da reutilização de materiais de concreto e argamassas como matéria-prima ou agregado, que podem passar por um processo de britagem e posterior separação em agregados de diferentes tamanhos, pode deixar de ser um problema para ser uma solução na diminuição do consumo de insumos escassos da construção civil, tornando-se assim uma importante ferramenta no combate a degradação ambiental, além da viabilidade econômica.

Mesmo com a finalização do período de vida útil das estruturas compostas pelos materiais que se tornam resíduos, é possível observar que esses ainda demonstram capacidade de reagir na presença de água devido a sua composição com

partículas cimentantes, é essa relação que torna possível os acréscimos de resistência mecânica no material reaproveitado e conseqüentemente no solo em que for aplicado. Além disso, o ganho de resistência também é devido, às reações pozolânicas que acontecem entre as partículas mais finas do material cimentício, presente no concreto e argamassas, que uma vez britados e quando entram em contato com a água, começam a gerar um significativo ganho na resistência. Por estes motivos, classificar e conhecer as propriedades e composições do resíduo são de fundamental importância, já que devem voltar-se para as aplicações e procedimentos técnicos específicos de maneira que a reutilização seja efetiva e coerente.

No Brasil foi constatado que os resíduos de construção civil são compostos, principalmente, de tijolos, areias e argamassas (em torno de 80%). Numa menor proporção foram encontrados ainda restos de concreto (9%), pedras (6%), cerâmica (3%), gesso (2%) e madeira (1%), Lucena (2005). De acordo com Creta, 2009 nesse mesmo ano eram cerca de 30 usinas de reciclagem de RCD no Brasil, em 2013, segundo pesquisa realizada pela ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição são 120 usinas de reciclagem de RCD no país, em que a região sudeste concentra mais da metade dessas usinas. Na Figura 2 mostra-se o resíduo de construção e demolição encontrado comumente em obras. A Tabela 1 demonstra de acordo com os resultados do estudo de “Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais” realizado por Pinto T. P. (1989), as perdas verificadas para a construção de um edifício.



FIGURA 2 -Resíduo de construção e demolição.

TABELA 1 - Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais

Material	Desperdício (% em massa)	
	Real	Usual
Aço	26,19	20,00
Areia	39,02	15,00
Argamassa colante	86,68	10,00
Azulejos	9,55	10,00
Cal hidratada	101,94	15,00
Cerâmica de piso	7,32	10,00
Cimento	33,11	15,00
Concreto usinado	1,34	5,00
Componentes de vedação	12,73	5,00
Madeiras em geral	47,75	15,00

3.3. Aplicações Solo-RCD-R

Compreendendo as preocupações ambientais, cada vez mais pertinentes em relação a produção de entulho, tem sido realizado diversos trabalhos e pesquisas envolvendo o uso desses resíduos sólidos em diversas situações. Correia, 2014 realizou um estudo sobre a viabilidade econômica para o uso de resíduos de construção e demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos atestando que além dos benefícios ambientais que são obtidos utilizando o material reciclado para bases e sub-bases de pavimentos, também ocorre um ganho substancial de custos na obra. Ou seja, uma economia considerável (46,4%), uma vez que o material reciclado é bem mais barato que o convencional e principalmente se for considerado que o RCD não apresenta perdas em relação a sua resistência”.

Em pesquisa realizada por Lima (2013), foi avaliada a viabilidade de blocos estruturais feitos de solo argiloso de baixa compressibilidade e granulação fina aditivados com 12,5% de cimento. Essa pesquisa mostra que com a adição de RCD, os blocos apresentaram melhorias de resistência e economia de cimento já que este foi substituído pelo material reciclado. Sendo encontrado que com a inclusão de 20% de RCD, foram obtidos resultados superiores em quanto a resistência dos blocos. Santos, 2007 realizou estudos incorporando a utilização de RCD-R em formas granulares no solo, visando o preenchimento de estruturas de solo reforçado para fundações. Também existem estudos focados na utilização desse material em obras de pavimentação, estabilização de solos e barreiras de contaminantes.

3.4. Propriedades Geomecânicas dos solos

Os solos são materiais naturais de extrema importância na engenharia e construção civil em qualquer que seja sua tipologia, afinal é ele que suporta as tensões transmitidas pela estrutura, e devem, portanto, ter os parâmetros de resistência e estabilidade aceitáveis para sua utilização. Cada solo possui propriedades físico-mecânicas que variam, principalmente de acordo com a região. Segundo Pinto, 2000, quando compactados ou tratados, os solos lateríticos possuem elevada capacidade de suporte, sendo, por isto, muito usados em pavimentação. Em Brasília o solo

laterítico passa ainda, pelo processo de Laterização que é lento e age nas camadas superficiais bem drenadas. Caracterizado pela migração e acúmulo de partículas de ferro e alumina sob a ação de infiltrações e evaporação, produzindo uma crosta ferruginosa no solo com alta permeabilidade.

Quando o solo se mistura com o RCD-R composto com pozolana, ou seja, material sílico-aluminoso que, em seu estado fino e na presença de água reage com hidróxido de cálcio gerando elementos com propriedades cimentícias, torna-se facilitada a reutilização e melhor aproveitamento dos resíduos industriais poluidores da construção civil. Por suas capacidades, os materiais pozolânicos são amplamente estudados e classificados em naturais e artificiais. As pozolanas naturais são aquelas cuja origem é vulcânica, geralmente de caráter petrográfico ácido ou de origem sedimentar com atividade pozolânica, enquanto as pozolanas artificiais são materiais resultantes de processos industriais ou provenientes de tratamento térmico com atividade pozolânica. A presença de material pozolânico no concreto representa vantagens como, menor calor de hidratação pela troca de reações exotérmicas, maior trabalhabilidade do material, elevação da durabilidade e resistência à fissuração devido à redução da reação álcali-agregado e maior impermeabilidade. Esses materiais ao serem reutilizados, são capazes de manter tais vantagens apresentando-se de forma positiva para a sociedade e o meio ambiente.

Geralmente são citadas como formas de resistência a resistência a tração, compressão, cisalhamento e flexão, no entanto, quando se refere aos solos basicamente são consideradas a resistência a tração, cisalhamento e compressão. De acordo com o descrito por Aluko & Koolen (2000), a resistência à tração dos solos é proveniente das ligações entre os agregados e aquelas internas a estes agregados, na qual à medida que o solo vai secando, a capilaridade no interior dos flocos se diferencia da externa e os mantém agrupados. Já para Barzegar et al. (1995) a resistência à tração dos solos é derivada do percentual de argila presente, o tamanho da fração argila e a quantidade de argila em estado disperso. Quando se considera esse tipo de solo, fica manifesto que a resistência a compressão é maior que a de tração, e está diretamente ligada ao cisalhamento e tensão de ruptura, medidos através de ensaios específicos.

Segundo a teoria de ruptura de materiais elaborado por Mohr Coulomb, nos problemas ligados a mecânica dos solos, é suficiente aproximar a tensão de cisalhamento no plano de ruptura para uma função linear de tensão normal (Coulomb, 1776) a través da equação de Mohr- Coulomb. Ainda de acordo com o critério e com a análise de Braja M. Das, um material se rompe em função da combinação entre forças normais e de cisalhamento e não devido a máxima força normal ou de cisalhamento isoladamente. Também é possível considerar a resistência do solo a compressibilidade, dada pela condutividade hidráulica (K) que representa a maneira de adensar do solo, nos solos lateríticos argilosos ou siltosos. A relação desse parâmetro é muito alta e representa uma das principais causas dos recalques e deformações.

4. METODOLOGIA

4.1. Preparo dos Materiais

A escolha do resíduo é dada por sua composição, buscando aquele basicamente constituído por tijolo, concreto e argamassa, ou seja, tipo A. Este componente completou diversas etapas do processo de reciclagem e mais especificamente passou por uma triagem de separação manual, peneiramento, redução das partículas por trituração e finalmente a britagem, responsável por dar ao resíduo o formato de finos. O resíduo utilizado na pesquisa, foi proveniente da demolição do Estádio Nacional de Brasília (Mané Garrincha).

O solo foi obtido por meio de escavações que já estavam sendo realizadas para pavimentos subterrâneos de um edifício locado nas quadras 703/704 da Asa Norte em Brasília, desta forma, possuíam torrões e pedras de diversos tamanhos e inclusive restos de material orgânico. Por tais motivos foi preciso realizar a separação manual e principalmente a secagem do material, que permitiu maior trabalhabilidade nos ensaios, reconhecimento da sua umidade in situ e maior facilidade no peneiramento e destorroamento. A Figura 3 representa o processo de obtenção do solo.



FIGURA 3 – Coleta do solo laterítico de Brasília utilizado na pesquisa

Vale ressaltar que ambos materiais ficaram dispostos e armazenados de forma adequada para manter as condições de campo, nas quais foram coletados. No âmbito laboratorial também foram verificadas as calibrações das máquinas e a confiabilidade de resultados.

4.2. CARACTERIZAÇÃO

Com o intuito de conhecer melhor as propriedades dos materiais usados na pesquisa, foi necessária a realização de alguns ensaios para determinar as características físicas dos mesmos. Dentro dos ensaios realizados tem-se:

distribuição granulométrica (NBR 7181), limites de consistência (NBR6459 e NBR 7180) e massa específica (NBR 6508).

4.2.1. Caracterização solo natural

O solo natural utilizado foi coletado em uma profundidade de quatro metros. De acordo com a tabela de cores de Munsell, apresenta uma cor tipicamente avermelhada de numeração 3/6, classificada como vermelho ferroso. Indicando um solo rico em ferro e manganês, de textura argilosa. Este solo, na classificação AASHTO, classifica-se como A-7-5, sendo considerado como regular para ser usado em pavimentação. Segundo a classificação MCT, considera-se como areia laterítica (LA'-LG'). Tem-se que o solo usado é composto de 1,1% de pedregulhos, 39,7% de areias, 19,8% de silte e 39,4% de argila, esses percentuais indicam ainda sua consistência fina apesar do alto teor de areia.

Na Tabela 2, encontram-se algumas informações relevantes das características do solo empregado na pesquisa. Obtidas mediante o sistema de classificação de solos tropicais MCT. A curva granulométrica obtida para o solo é apresentada na Figura 4.

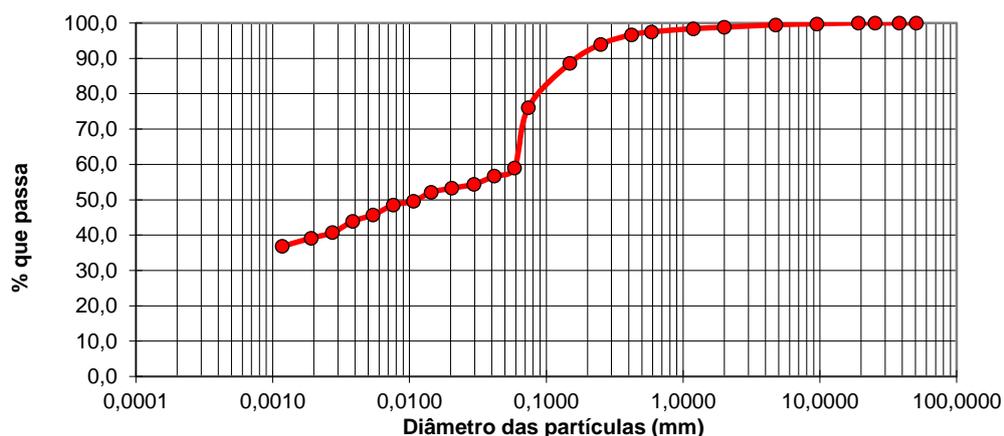


FIGURA 4 – Curva de distribuição granulométrica do solo

TABELA 2 – Resultados obtidos para o solo com o ensaio MCT

Identificação e Descrição Expedita (Visual-Táctil) de Solos	
Parâmetro	Valor
Plasticidade	Media plasticidade (MP)
Cálculo de c'	1,55
Umidade de moldagem (%)	33,51
Contração média	1,19
Resistência ao esmagamento da bola seca	Muito alta (MA)
Tipo de solo	LA' - LG'

O ensaio de limites de consistência baseado nas normas NBR 7180/1984 e 6459/1984 apresenta para valores de limite de liquidez e de plasticidade, que ao serem subtraídos geram o índice de plasticidade do solo caracterizando-se como mediamente plástico. A Tabela 3 representa tais propriedades

TABELA 3 – Propriedades relevantes do solo usado na pesquisa

Propriedades	Valor
Densidade real dos grãos (GS)	2,71
Umidade ótima (%)	22
Limite de liquidez (%)	43
Limite de plasticidade (%)	31

A compactação do solo natural foi realizada nas energias normal, intermediária e modificada. Na Figura 5 são mostradas as curvas de compactação obtidas. Já na Tabela 4 estão descritos alguns parâmetros encontrados por meio do ensaio. Nestes ensaios, foi possível perceber que a medida em que aumenta a energia de compactação, os valores dos pesos específicos secos máximos aumentam e a umidade ótima diminui levemente. Os resultados, estão de acordo com o exposto por Das, 2011.

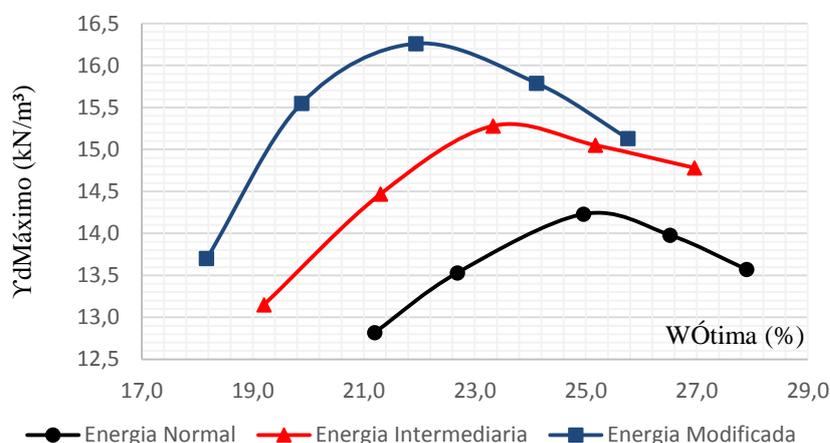


FIGURA 5 – Curvas de compactação do solo natural saturado

TABELA 4 – Parâmetros encontrados para o solo com o ensaio de compactação

Energia de compactação	Umidade ótima (W %)	Peso específico seco máx. (kN/m³)
Normal	24,96	14,23
Intermediária	33,33	15,28
Modificada	21,65	16,26

4.2.2. Classificação do RCD-R

O resíduo é obtido na forma sólida com diversas características físicas variáveis e decorrentes de sua origem, incluindo seu aspecto geométrico com formatos e dimensões irregulares, semelhantes aos clássicos materiais de construção. Para que o resíduo possua em suas propriedades capacidade de atribuir resistência é essencial que, no caso do resíduo de construção e demolição, estes sejam derivados de concretos e argamassas, isto é, RCD-R tipo A já que os RCD-R tipo B são compostos de materiais mistos que podem gerar efeitos nocivos. O resíduo sólido da construção, por exemplo, é considerado mais limpo que o resíduo de demolição, isso porque ainda não passou por processos como revestimento que mistura os insumos.

Sendo assim a cor bege encontrada no resíduo de construção e demolição reciclado utilizado, mais especificamente oriundos do processo de demolição de parte da estrutura do Estádio Nacional de Brasília (Mané Garrincha) no ano de 2011 é proveniente da mistura de tijolos de cor avermelhada e laranja com o cinza dos concretos, argamassas e a própria pozolana. Apesar de se tratar de um resíduo basicamente oriundo de demolição, este pode ser considerado tipo A, pois sua composição é basicamente de materiais selecionados mediante separação manual.

Na Figura 6 mostra-se a curva granulométrica do resíduo de construção e demolição empregado na pesquisa e na Tabela 5, apresentadas as características mais relevantes do material.

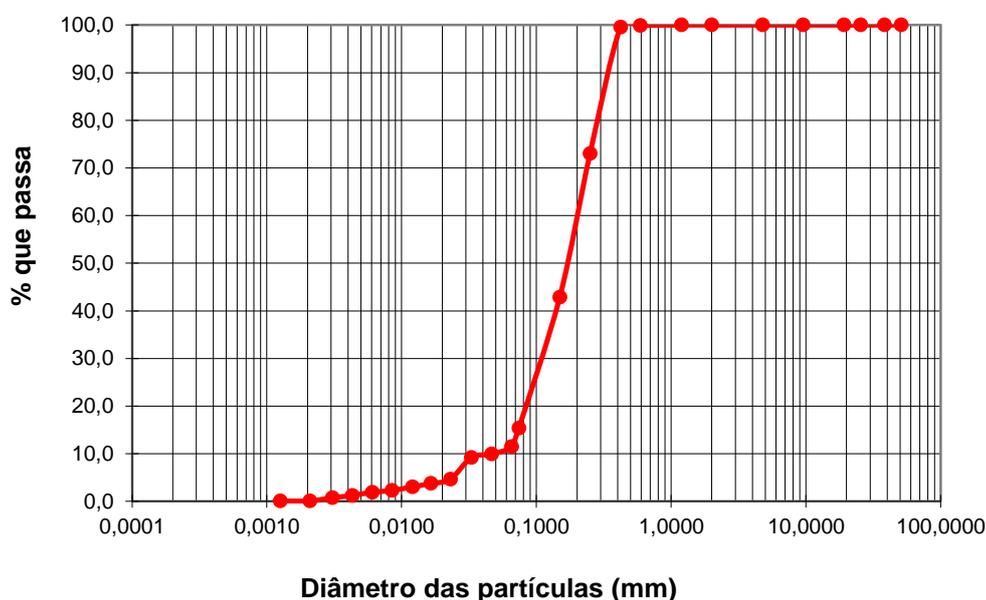


TABELA 5– Parâmetros relevantes do resíduo utilizado.

Propriedades	Valor
Densidade real dos grãos (GS)	2,76
Umidade (%)	1,92
Plasticidade	NP

4.3. REALIZAÇÃO DA MISTURA

Após a separação dos materiais a serem empregados, foram realizados os corpos de prova para avaliação do comportamento do solo, quando misturado com resíduo de construção e demolição. Os corpos de prova foram elaborados mediante a compactação das misturas solo- resíduo. Para as misturas compactadas, foram realizados ensaios de resistência ao cisalhamento para determinar os parâmetros de resistência com a presença de resíduo de construção. Destaca-se que inicialmente pretendia-se verificar também as condições de adensamento das misturas, no entanto devido a problemas no cronograma e disponibilidade de laboratório não foi possível a realização do mesmo. A pesquisa visou avaliar o efeito de submeter as misturas e o próprio solo natural a diferentes tempos de cura, para avaliar a mudança ou não, de suas propriedades mecânicas.

Para definir o percentual ideal de mistura, além de basear-se em outros trabalhos, foram consideradas principalmente as características granulométricas dos materiais envolvidos, pois as partículas precisam apresentar interações compatíveis e boa distribuição granulométrica. Isso é, certificar-se de que os grãos fossem capazes de preencher os vazios de forma suficiente, além dos parâmetros físicos e químicos tais como capacidade de absorção de água, porosidade, densidade, entre outros.

O compósito solo-RCD-R ao entrar em contato com água ocasionará de forma substancial as reações pozolânicas, que acontecem entre as partículas mais finas do material cimentício e as reações físico-químicas responsáveis pelo ganho de resistência. Assim como ocorre nos concretos a reação água-cimento tem forte influência sob o comportamento do material, devendo esta ser utilizada em quantidades unicamente suficientes. Nesse caso a porcentagem escolhida foi de 15% de RCD-R para 85% de solo natural. Os corpos de prova, foram compactados na umidade ótima (21,65%) e na energia modificada.

4.3.1. Compactação dos corpos de prova para solo natural e mistura solo-RCD-R

A compactação é um método de estabilização de solos que se dá com a aplicação de energia mecânica de impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica, capaz de densificar o solo por meio da remoção de ar presente. Seu efeito confere ao solo o aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, redução da porosidade e redução do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade, (NBR 7182/1986). Através do ensaio de compactação, normalizado pela NBR 7182/1986 é possível obter a correlação entre o teor de

umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado, indicando ainda, seu melhor estado.

Nesta pesquisa, a compactação foi realizada para várias amostras, sendo elas solo natural e mistura solo- resíduo. Os ensaios foram realizados conforme a norma de ensaio NBR 7182/1986. Para o solo em estado natural, foi realizado o ensaio de compactação na energia normal, intermediária e modificada.

Para os corpos de prova compostos pela mistura de solo com RCD-foi realizada a compactação na energia modificada. Para a avaliação da resistência das misturas, foram compactados 4 corpos de prova para cada tempo de cura, dos quais cada corpo foi moldado para um ponto da envoltória de Mohr Coulomb. A Figura 7 mostra o corpo de prova compactado da mistura solo-RCD.



FIGURA 7 – Corpo de prova de solo- RCD-R

4.3.2. Tempos de cura em câmara úmida

Para avaliar possíveis mudanças nos parâmetros de resistência nas misturas elaboradas, estas foram submetidas a diferentes tempos de cura. Visando avaliar o efeito dos materiais cimentícios presentes no resíduo de construção e demolição empregado, quando misturado com solo laterítico.

A partir dos tempos de cura foi possível fazer uma análise da resistência dos corpos de prova da mistura solo-RCD proposta neste trabalho. Embora os corpos de prova não pudessem estar submersos em água por conta do solo, o material permaneceu em câmara úmida fechada na qual não houve perda de água. Os tempos de cura adotados para análise foram 0 dias, 7 dias e 28 dias. Inicialmente pretendeu-se realizar cura para os tempos de 14 dias e 56 dias, mas por limitações da pesquisa como disponibilidade de equipamentos não foi possível. As Figuras 8A e 8B mostram a disposição dos corpos de prova e o controle de umidade.



FIGURA 8A – Corpos de prova de solo natural e solo-RCD-R dispostos em caixa plástica utilizada como câmara úmida



FIGURA 8B – Relógio termo-higrômetro para controle de umidade

4.4. Verificação De Resistência Por Meio De Ensaio De Cisalhamento Direto

4.4.1. Solo natural

Para verificação dos parâmetros de resistência do solo, foi realizado o ensaio de cisalhamento direto conforme norma de ensaio ASTM D3080. Segundo Marangon, 2009 o ensaio de cisalhamento direto é o mais antigo procedimento para a determinação da resistência ao cisalhamento, e se baseia diretamente no critério de Mohr-Coulomb. Aplica-se uma tensão normal num plano e verifica-se a tensão cisalhante que provoca a ruptura. Tem-se que a resistência ao cisalhamento de um solo em qualquer direção é a tensão de cisalhamento máxima que pode ser aplicada à estrutura do solo naquela direção. Quando este máximo é atingido, diz-se que o solo rompeu, tendo sido totalmente mobilizada a resistência do solo.

Nesta pesquisa foi utilizado o ensaio de cisalhamento direto, adotando-se uma velocidade de 0,029mm/min. Considerando-se adensamento lento.

4.4.2. Mistura solo-RCD-R

No trabalho foi avaliada a resistência ao cisalhamento tanto da mistura solo-RCD-R como a do solo natural. O objetivo foi estabelecer uma comparação entre uma possível mudança nos parâmetros de resistência da mistura elaborada. Destaca-se que antes da realização dos ensaios de cisalhamento e após os tempos de cura da mistura e do solo natural foram verificadas algumas mudanças nos corpos de prova. Dentro delas consideram-se mudança na aparência física e dificuldade na hora de moldar os corpos de prova para realização dos ensaios de cisalhamento direto. Para ambos os casos, no solo natural e no solo-RCD-R, as tensões escolhidas foram de 200kpa, 400kpa, 600kpa e 800kpa, consideradas pertinentes para representar o estado de tensões a que o solo poderia estar submetido em uma obra de engenharia. Na Figura 9 mostra-se o equipamento empregado para a execução dos ensaios de cisalhamento direto.

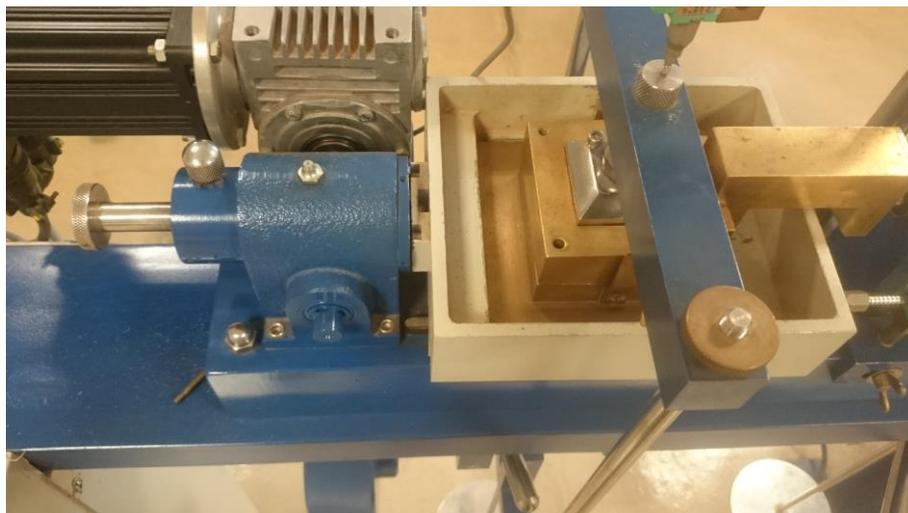


FIGURA 9 – Máquina de execução do ensaio de cisalhamento direto

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resultados de Resistência Solo Natural

Foram realizados ensaios de resistência ao cisalhamento no solo, em estado saturado. Nas Figuras 10 exibe-se o gráfico de tensão de cisalhamento *versus* deformação na condição saturada do solo. Tem-se na Figura 11 a envoltória de Mohr coulomb no ensaio realizado e na Tabela 5 mostra-se os valores de ângulo de atrito e coesão.

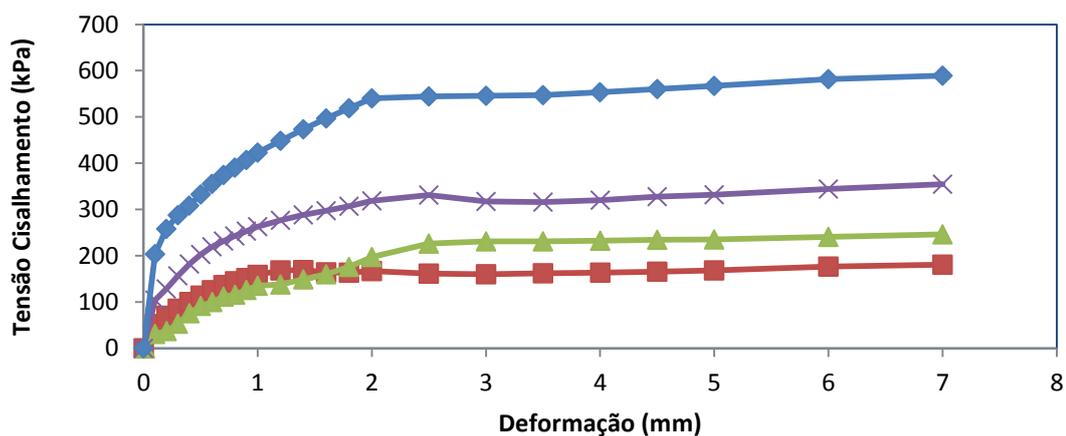


FIGURA 10 – Gráfico de deformação lateral do solo em estado saturado

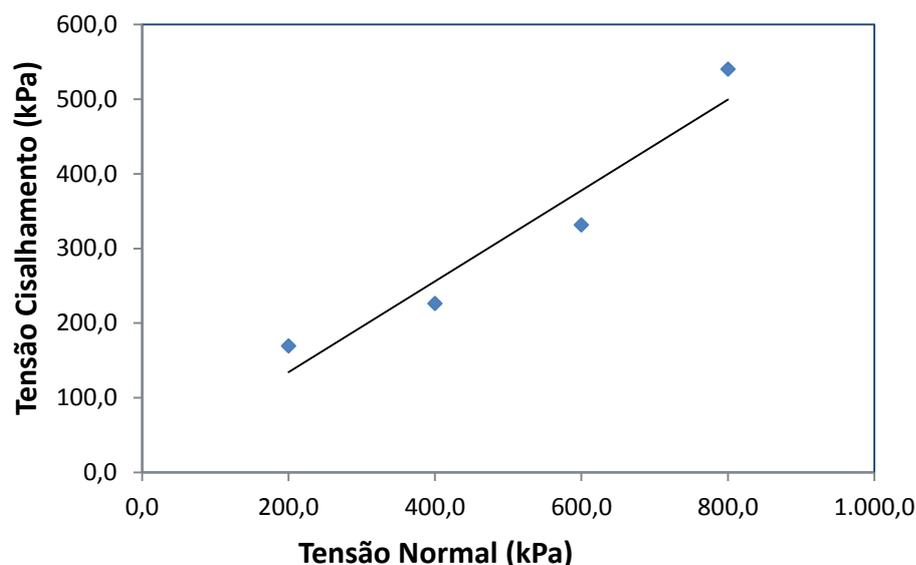


FIGURA 11 – Envoltória de Mohr Coulomb do solo em estado saturado.

TABELA 6 – Valores de coesão e ângulo de atrito do solo

Tipo de solo	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito
Saturado	12,504	31,32°

Os resultados de coesão e ângulo de atrito, estão de acordo com valores encontrados para os solos do distrito federal. Isso pela sua formação, produto de processos de intemperismo presentes nos solos laterítico.

5.2. Resultados das Misturas Solo-RCD-R

Após a determinação dos parâmetros de resistência do solo, foi necessária a obtenção dos parâmetros da mistura solo-RCD-R. Isso para poder estabelecer a variação nos parâmetros de resistência da mesma, tais como coesão e ângulo de atrito. Na Tabela 7 exibem-se os valores de ângulo de atrito e coesão das misturas para os diferentes tempos de cura para os quais foram submetidas. Sendo possível observar o aumento significativo da coesão a medida que aumenta o tempo de cura. Isso podendo ser explicado, pela reação das partículas de cimento presentes no resíduo de construção e demolição utilizado na mistura com água. Por outra parte, nota-se que o ângulo de atrito mantém-se praticamente estável ao longo do período de cura.

TABELA 7 - Valores de ângulo de atrito e coesão das amostras

Condição	Solo Saturado	0 dias	7 dias	28 dias
Ângulo de Atrito (°)	31	36	34	34
Coesão (kPa)	15	53	66	112

Na tabela 8 mostram-se os valores de tensão cisalhante obtidos para cada tensão normal nos diferentes tempos de cura, além dos resultados encontrados para o solo em estado saturado.

TABELA 8 - Tensão cisalhante em função das tensões normais aplicadas no solo e nas misturas solo-RCD-R

Condição		Tensão Normal (kPa)			
		200	400	600	800
Solo Saturado	Tensão Cisalhante (kPa)	135	255	376	496
Mistura 0 dias		198	344	489	634
Mistura 7 dias		201	336	471	606
Mistura 28 dias		247	382	517	652

5.2.1. Mistura solo-RCD-R 0 dias

A Figura 12 apresenta a envoltória de resistência de Mohr-Coulomb para a mistura Solo- Rcd-R para um tempo de cura de 0 dias. Está foi realizada para ter um ponto de análise ou de comparação para as misturas que foram submetidas a tempos de cura de 7 e 28 dias respectivamente.

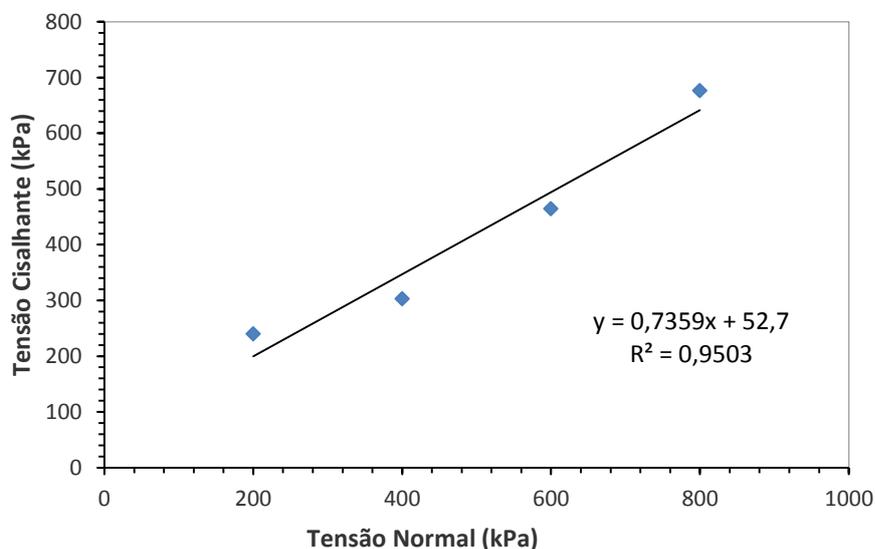


FIGURA 12 – Envoltória de Mohr Coulomb para a amostra de solo-RCD-R com cura de 0 dias

5.2.2. Mistura solo-RCD-R 7 dias

Na mistura considerando 7 dias de cura também são obtidos o aumento linear dos parâmetros de resistência, mantendo-se o ângulo de atrito constante. A Figura a 13 representa a respectiva envoltória de resistência da mistura submetida a sete dias de cura.

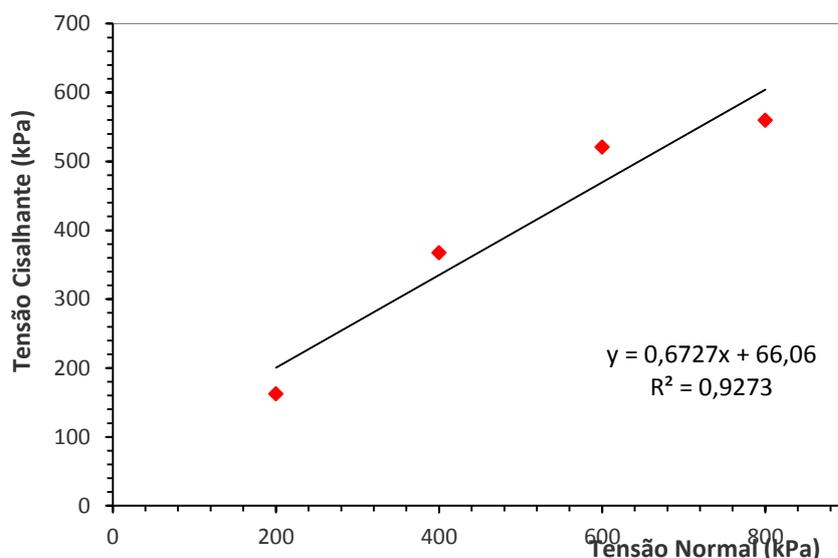


FIGURA 13 – Envoltória de Mohr Coulomb para a amostra de solo-RCD-R com cura de 7 dias

5.2.3. Mistura solo-RCD-R 28 dias

Seguindo o mesmo padrão de execução dos tempos de curas anteriores a amostra referente aos 28 dias apresentam comportamento linear e compatível com o uso de resíduos e com os corpos de prova com curas de 0 e 7 dias, ou seja, também mostra o aumento da coesão e do ângulo de atrito se comparados ao solo natural saturado. Nesse caso, nota-se ainda que o ângulo de atrito apresenta o mesmo valor encontrado na amostra de 7 dias, o que indica uma possível estabilização. Este corpo de prova exibiu maior resistência, mostrando o ganho da mesma, produto da hidratação do cimento, presente no resíduo de construção e demolição. A Figura 14 representa a envoltória de ruptura para um tempo de cura de 28 dias.

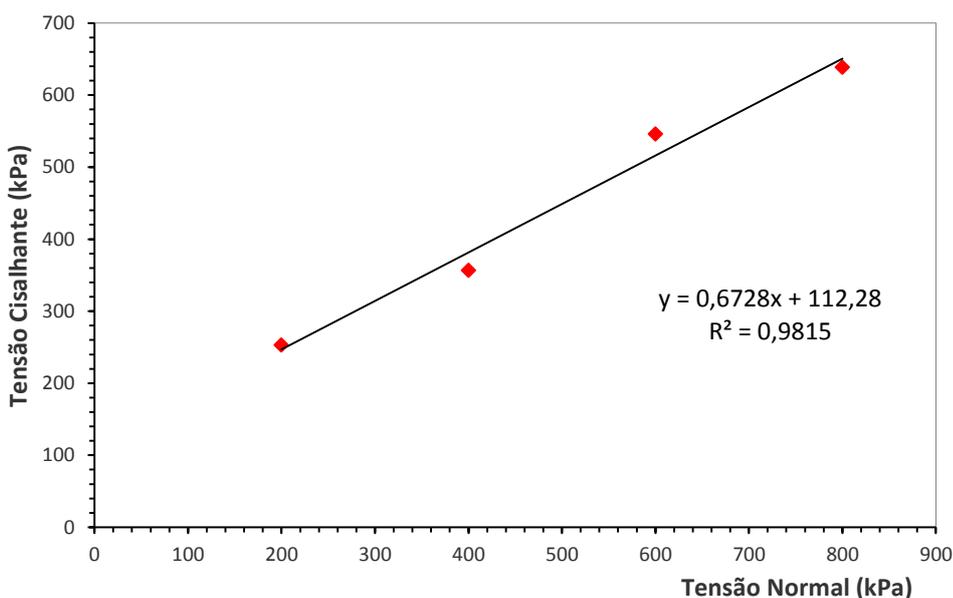


FIGURA 14 – Envoltória de Mohr Coulomb para a amostra de solo-RCD-R com cura de 28 dias

5.3. Comparativo de Resistência das amostras submetidas a distintos períodos de cura.

Conforme descrito anteriormente o aumento da coesão e do ângulo de atrito resultantes do ensaio de cisalhamento direto foram perceptíveis nos distintos tempo de cura. Foi considerada como amostra comparativa o solo em estado natural saturado. A Figura 15 mostra a variação de coesão entre as amostras consideradas, já na Figura 16 exibe-se a variação do ângulo de atrito.

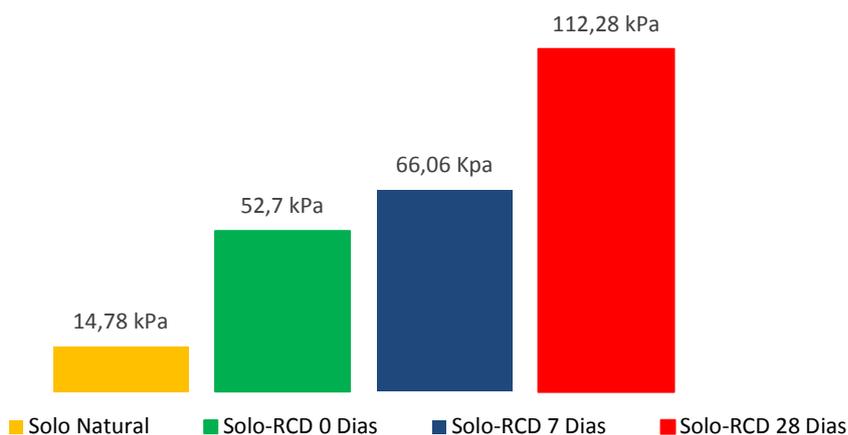


FIGURA 15 – Variação da coesão para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado

Na Figura 15 é possível observar que a mistura com 28 dias de cura apresenta um aumento significativo no valor da coesão, com relação ao do solo natural saturado. Sendo estes valores 112,28 kPa e 14,78 kPa respectivamente. O anterior pode ser associado à atividade pozolânica do resíduo.

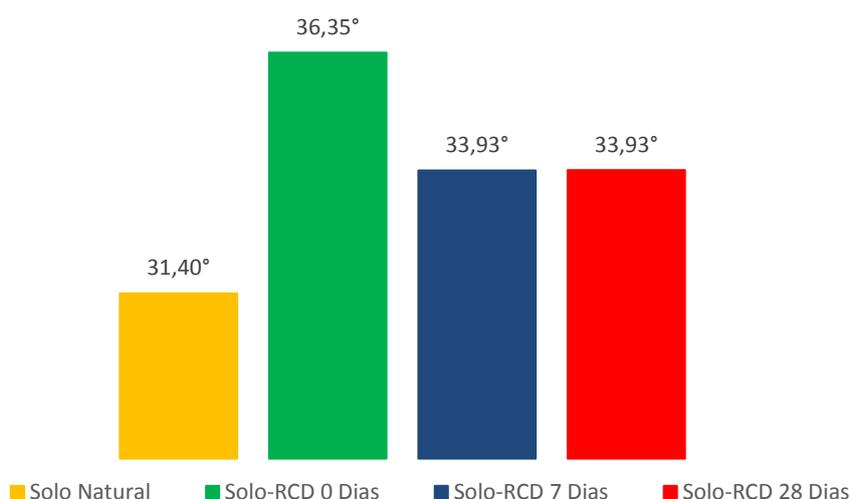


FIGURA 16 – Variação do ângulo de atrito para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado

Na Figura 16 observa-se que o ângulo de atrito teve um leve aumento ao decorrer do tempo dos períodos de cura. Mas também destaca-se que entre o período

de cura de 7 e 28 dias, o referido ângulo ficou estável.

A Figura 17 apresenta o comparativo entre as resistências ao cisalhamento obtidas tanto para o solo natural como para as misturas ensaiadas na pesquisa. O anterior considerando-se uma tensão normal de 800 kPa. Tem-se que ao considerar a mistura Solo-RCD, nota-se um considerável aumento na resistência da mistura com relação ao solo natural. Já quando as misturas são submetidas aos tempos de cura estabelecidos na pesquisa, nota-se um leve aumento na resistência das mesmas

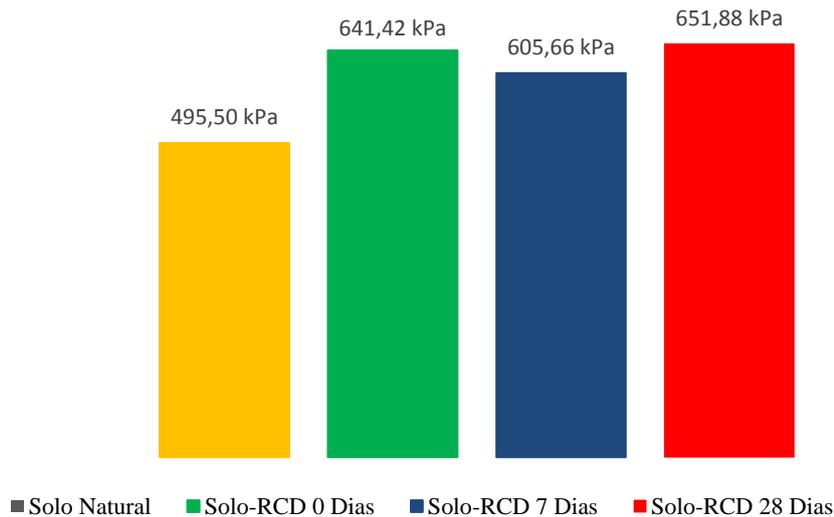


FIGURA 17 – Comparativo do valor de resistência obtidos pelo critério de Mohr Coulomb para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado

Já na Figura 18 , são mostradas as envoltórias de resistência do solo natural e das misturas empregadas no presente trabalho. Observando-se uma considerável variação quando comparadas com o solo natural.

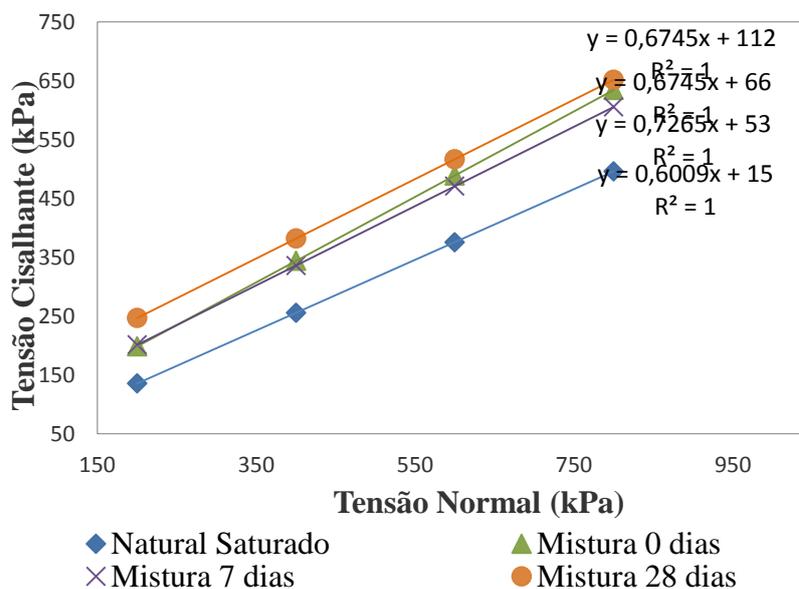


FIGURA 18 – Comparativo das envoltórias de Mohr Coulomb para os resultados considerados da mistura solo-RCD-R em relação ao solo natural saturado

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

6.1 Conclusões

Nesta pesquisa foi estudada a melhoria do solo laterítico de Brasília a través da inclusão de resíduo de construção e demolição reciclado. Visando avaliar a mudança nas características mecânicas das misturas elaboradas. Em função dos resultados obtidos nos ensaios realizados, a seguir são apresentadas as principais conclusões obtidas nesse trabalho.

A coesão das misturas Solo-RCD aumenta gradativamente a medida que é submetida a tempos de cura maiores, quando comparada com os valores obtidos no solo em estado natural. Já o ângulo de atrito apresenta um leve aumento ao longo dos tempos de cura, até que fica estável após 7 dias.

Em quanto a resistência ao cisalhamento das misturas Solo – RCD, foi possível determinar um considerável aumento no valor da mesma. Isso ligado ao a efeito gerado pelas partículas cimentantes e atividade pozolânica presentes na composição do resíduo.

Com a realização da presente pesquisa, foi possível concluir que a utilização do resíduo de construção e demolição reciclado RCD, proporciona uma solução ambientalmente correta e eficiente tecnicamente, no caso de ser usado para melhorar as características mecânicas do solo.

É possível dizer que o resíduo de construção e demolição reciclado, como material alternativo para melhoria de solos é uma opção viável. Isso porque estaria dando-se uso a um material, que geralmente tem um descarte inadequado e que causa grandes transtornos à sociedade e ao meio ambiente.

Também é razoável dizer que o aproveitamento do RCD favorece diretamente as populações locais, o meio ambiente e a economia no processo construtivo. Pois trata-se de um produto de baixo custo, facilmente encontrado, com boa capacidade de reutilização e que ocupa e gera problemas ambientais de grande escala se dispostos de forma incorreta.

6.2 Sugestões para pesquisas futuras

De acordo aos resultados obtidos neste trabalho podem ser realizadas algumas sugestões para pesquisas futuras, acerca da utilização de resíduos de construção e demolição como melhoria de solos lateríticos, quais sejam:

- Executar ensaios de resistência para outras porcentagens de resíduo de construção e demolição na misturas com solo laterítico.
- Realização de misturas com utilização de agregados graúdos, para considerar a viabilidade do resíduo como parte do material de base de pavimentos flexíveis.

- Realizar o ensaio de determinação do módulo de resiliência das misturas elaboradas com solo-RCD, com o intuito de avaliar o potencial de utilização do material reciclado na construção de camadas de bases e sub-bases.
- Avaliar a resistência ao cisalhamento das misturas elaboradas com resíduo de construção e demolição a través de ensaios triaxiais com medição de sucção.
- Efetuar uma análise de viabilidade técnica - económica acerca da utilização do resíduo de construção quando misturado com solo para ser usado em pavimentação.

REFERÊNCIAS

AASHTO. *Sistema SUCS*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1973.

ABRECON. *Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduo de construção e demolição*. Água branca, São Paulo, 2013.

ALUKO, O. B, & KOOLEN, A. J., *The essential mechanics of capillary crumbling of structured agricultural soils - Soil & Tillage Research*. 2000.

ANGULO, S. C., *Produção de concretos de agregados reciclados*. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS NBR 7180: **Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS NBR 7181: **Solo - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro ,1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS NBR7182: **Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro ,1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 6459: **Solo - Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS NBR 6508: **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro ,1984

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 3080**: Standart test method for direct shear testo f soils under consolidated drained condicions. 1998.

BARZEGAR, A. R. OADES, J. M., RENGASAMY, P. & MURRAY, R.S. *Tensile strength of dry remoulded*. Geoderma, 1995.

BRAJA, M. DAS. *Fundamentos da Engenharia Geotécnica*. São Paulo: Thomson Learning, 2006.

CONAMA. Conselho Nacional Do Meio Ambiente, *Resolução n° 357/2005*. DOU nº 053/2005.

CORREIA, S. R. *Viabilidade econômica para o uso de resíduos de construção e demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos*. Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio De Janeiro, 2014.

DELGADO, ANNA KARINA. *Estudo do comportamento mecânico de solos tropicais característicos do Distrito Federal para uso na pavimentação rodoviária*. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

GÓMEZ JIMÉNEZ, A. M. *Estudo experimental de um agregado reciclado de resíduo de construção e demolição (RCD) para utilização em pavimentação*. Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

LASSO, P. R. O., *Avaliação da utilização de resíduos de construção civil e de demolição reciclados (RCD-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicabana, São Paulo, 2011.

LEVY, S. M., *Reciclagem do entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concretos*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997

LIMA, F. X. R. F., *blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações*. Tese de doutorado, Universidade De Brasilia, Brasilia, 2013.

NOGAMI, J.S. & VILLIBOR, D.F. *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*. São Paulo, (1996).

PINTO, C. S., *Curso Básico de Mecânica dos Solos: em 16 aulas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

PINTO T. P., *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SANTOS, E. C. G., *Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição reciclados (RCD-R) em Estruturas de reforçado de solo São Carlos*. Dissertação de Mestrado, Universidade de são Paulo, são Paulo, 2007.

VAUGHAN, P.R. *Mechanical and hydraulic properties of tropical lateritic and saprolitic soils, particularly as related to their structure and mineral components*. Conferência internacional em solos tropicais lateríticos e saprolíticos, Brasília, 1985.