



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MELHORAMENTO DE SOLO ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DA
CONSTRUÇÃO CÍVIL NO BRASIL: REVISÃO SISTEMÁTICA**

MAILSON AUGUSTO ALMEIDA CARTAXO

Campina Grande – PB

2020

MAILSON AUGUSTO ALMEIDA CARTAXO

**MELHORAMENTO DE SOLO ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DA
CONTRUÇÃO CÍVIL NO BRASIL: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à coordenação do curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
de Campina Grande, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Orientadora: Prof. Dra. Carina Silvani

Coorientadora: Sonaly Mendes Arruda

Campina Grande – PB

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Mailson Augusto Almeida Cartaxo

Título: MELHORAMENTO DE SOLO ATRAVÉS DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DA CONTRUÇÃO CÍVIL NO BRASIL: REVISÃO SISTEMÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à coordenação do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03/12/2020

Pela Banca Examinadora:

Orientadora: Prof. Dra. Carina Silvani
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Coorientadora: Sonaly Mendes Arruda
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Prof. Dra. Aline Figueirêdo de Nóbrega Azerêdo
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Jucimara Cardoso da Silva
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente presto minha homenagem em forma de agradecimento à Deus, Santíssima Trindade, por me permitir voar alto, algo que nem nos meus melhores sonhos havia imaginado. Agradeço a vossa benção ao trilhar esse caminho que me sustentou em todos os momentos com seu braço forte. Não me esqueceria da mãe de Jesus e nossa mãe, a Virgem Maria, homenageada no nome da minha filha Sarah Maria, que me protege e me inspira. Agradeço a todos os Anjos e todos os Santos.

Dedico essa vitória à minha família, nas pessoas de Amanda da Silva Baborasa Cartaxo, minha digníssima esposa, mãe do nosso tesouro Sarah Maria Barbosa Cartaxo, à minha mãe Maria José de Almeida Cartaxo e ao meu pai Mailson Cartaxo, que me incentivaram em todos os momentos, exalando energias positivas e depositando vossa confiança,

Agradeço aos meus irmãos Pedro Arthur de Almeida Cataxo e Paulo Henrique de Almeida Cartaxo, à minha avó Zélia Gomes, às minhas sobrinhas Ana Júlia e Ana Beatriz, às minha cunhadas Katiana Gonzaga, Alana Creuza, Aline Babrosa, Aluska Babrosa e meu cunhado Diego Augusto, à minha sogra Joseja Juliana, à meu sogro Djalma Barbosa e aos meus afilhado Douglas Breno e Rafael Augusto, por todos os momentos felizes que serviram de combustível para concluir essa longa e difícil jornada.

Agradeço à minha orientadora, professora Dr Carina Silvani e à coorientadora Sonaly Mendes Arruda por todo suporte, disponibilidade e os puxões de orelha que serviram para alcançar essa realização pessoal.

Agradeço à UFCG e a todos os professores que fazem parte da UAEC, importantíssimos na minha formação acadêmica, incluo a estes Armando e Sr Manoel, secretários da coordenação de curso, que sempre se dispuseram, sem medir esforços, a nos ajudar.

Agradeço aos meus colegas de curso por todas as parcerias firmadas nesta jornada, são eles: Jackson, Gineton, Ygho, Felipe, Sergio, Sabrina, Osmar, Kaio, Graco e João Pedro.

Agradeço aos meus tios e amigos pessoais pelas excelentes companhias e interessantíssimas conversas, são eles Leonardo, Honorato, Humberto, Henrique, Maria de Lourdes, Maria da Conceição, Josefa Zoraide, Maria do Socorro, Marleide, Marcelo, Moacir, Mônica, Tico, Maria Jaqueline, Deyane, Cesar, Isabelle, Hugo, Augusto e Daniele.

Continuo o agradecimento aos meus primos pelas excelentes companhias, interessantíssimas conversas e momentos de distração, são eles Mateus, Denilson, Felipinho do piezeiro, Lucas, João Paulo, Carol, Daniela, Lorena, Lucas, Ester, Larissa, Garbiela, Emanuela, Isabela, Fernanda, Beatriz, Letícia e Maria Emília,

Agradeço à Colinas Engenharia LTDA, nas pessoas de Italo, Ibysson, Tairone, Thiago, Cleildo, Iannuzy e Breno, por abrirem as portas do mercado de trabalho como estagiário e sempre acreditarem no meu potencial.

RESUMO

Atualmente na Engenharia, é comum deparar-se com situações nas quais o solo disponível para realização de uma obra não é o ideal. As técnicas de substituição adotadas pelos engenheiros têm elevado custo e por isso um dos grandes desafios da Engenharia Geotécnica atual é encontrar formas mais econômicas de resolver os problemas de baixa capacidade de suporte de solos. Dentre as técnicas de melhoramento de solo as que utilizam agregados mostram-se como boa opção. Obtenção de agregados naturais tem grande impacto no meio ambiente, logo uma solução sustentável é o emprego de agregados obtidos a partir do Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Nesse contexto, o objetivo presente pesquisa foi identificar as tendências do uso de RCD no melhoramento de solo no Brasil através de estudos acadêmicos nos últimos dez anos. A pesquisa foi realizada nos moldes da revisão sistemática, mais especificamente pelo método Systematic Search Flow (SSF), que consiste na definição das plataformas de coleta dos trabalhos científicos nos últimos dez anos, que foram a CAPES E COMBRAMSEG. Em seguida avaliou-se todos os trabalhos que assemelhavam com o tema de estudo, o que elimina o viés do autor. De todos os trabalhos avaliados, encontrou-se 34 trabalhos científicos que discutiam a estabilização do solo através de misturas solo-RCD. Os estudos envolvendo as misturas de solo-RCD vem crescendo nos últimos dez anos, alcançando o maior número em 2018, com 14 produções acadêmicas, com posição de destaque para o Nordeste com 14 publicações. Foram identificadas as finalidades de pavimentação, filtro de barragens e aterro sanitário para as misturas solo-RCD avaliadas por 19 tipos de ensaios distintos, com 94% dos resultados acenando positivamente para o uso do RCD na estabilização dos solos. Como conclusões gerais os estudos realizados com resíduos de construção e demolição apontam para a viabilidade do reuso do RCD visando substituir recursos naturais, escassos, diminuir a deposição ilegal de resíduos sólidos, e até mesmo melhorar propriedades geotécnicas dos materiais usados nas obras.

Palavras-chave: Estabilização de solo, RCD, sustentabilidade,

ABSTRACT

Currently in Engineering, it is common to encounter situations in which the soil available for carrying out a work is not ideal. The substitution techniques adopted by the engineers are expensive and, therefore, one of the great challenges of the current Geotechnical Engineering is to find more economical ways to solve the soil stabilization problems. Among the soil improvement techniques the ones that use aggregates are shown as a good option. Obtaining natural aggregates has a great impact on the environment, so a sustainable solution is the use of aggregates obtained from Construction and Demolition Waste (RCD). In this context, this research aims to identify trends in the use of RCD in soil improvement in Brazil through academic studies in the last ten years. The research was carried out along the lines of systematic research, more specifically by the Systematic Search Flow (SSF) method, which consists of defining the platforms for collecting scientific papers in the last ten years, which were CAPES AND COMBRAMSEG, then all were evaluated the works that resembled the theme of study, which eliminates the author's bias. Of all the evaluated works, 34 scientific papers were found that discussed soil stabilization through soil-RCD mixtures. Studies involving soil-RCD mixtures have been growing in the last ten years, reaching the highest number in 2018, with 14 academic productions, with a prominent position in the Northeast with 14 publications. The purposes of paving, dam filter and landfill were identified for soil-RCD mixtures evaluated by 19 different types of tests, with 94% of the results pointing positively to the use of RCD for soil stabilization. As general conclusions, the studies carried out with construction and demolition waste point to the viability of reusing the RCD in order to replace scarce natural resources, reduce the illegal deposition of solid waste, and even improve the geotechnical properties of the materials used in the works.

Key words: soil stabilization, RCD, sustainability, systematic review.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Partes constituintes do solo.....	17
Figura 2: Configuração genérica de solos residuais	18
Figura 3: Envoltória Mohr-Coulumb	23
Figura 4: Tipos de melhoramento	24
Figura 5: Fluxograma do processo de reciclagem de RCD.....	32
Figura 6: Atividades Propostas no Método Systematic Search Flow.	37
Figura 7: Linha do tempo, publicações por ano	40
Figura 8: Publicações por região	42
Figura 9: Publicações por estado.....	43
Figura 10: Classificação dos solos	44
Figura 11: Finalidade da mistura solo-RCD.....	45
Figura 12: Classificação do RCD.....	46
Figura 13: Processos de Beneficiamento.....	47
Figura 14: Material predominante do RCD	48
Figura 15: Quantidade de ensaios por trabalho científico.....	49
Figura 16: Ocorrências dos ensaios.....	51
Figura 17: Resultado global dos trabalhos científicos	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos RCD de acordo com o CONAMA.	28
Quadro 2: Instrumentos legais e normativos de abrangência nacional	29
Quadro 3: Normas técnicas brasileiras relacionadas aos resíduos sólidos e aos RCD.	29
Quadro 4: Quantidade total de RCD coletados pelas regiões do Brasil.....	30
Quadro 5: Composição média de RCD de obras no Brasil	33
Quadro 6: Resultados dos parâmetros de cisalhamento de acordo com a porcentagem de RCD.	34
Quadro 7: Estruturação do Método SSF	36
Quadro 8: Títulos dos artigos publicados no COBRAMSEG	61
Quadro 8: Títulos das teses e dissertações CAPES	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação granulométrica do solo	19
Tabela 2: Classificação TRB	21
Tabela 3: Finalidade da mistura por classificação do solo	46
Tabela 4: Ensaio realizados nos trabalhos científicos.....	50
Tabela 5: Ocorrência de ensaios por região.	52

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para reciclagem de resíduos da construção civil e demolição.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos especiais

AMBS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CBR - *California Bearing Ratio*

CNT - Confederação Nacional de Transporte

COBRAMSEG – Congresso Brasileiro de Mecânica de solos e Geotecnia

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

NBR – Norma Brasileira

ODS 11 - Objetivo do Desenvolvimento Sustentável

RCD - Resíduo da Construção Civil e Demolição

SPT - *Standard Penetration Test*

SSF - *Systematic Search Flow*

SUCS - Sistema unificado de classificação dos solos.

TRB - *Transportation Research Board*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral.....	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. Origem e formação do solo.....	17
3.2. Classificação e identificação do solo	19
3.3. Propriedades do Solo	21
3.4. Propriedades mecânicas do solo	22
3.5. Melhoramento ou estabilização dos solos	24
3.6. Resíduos de construção e demolição- RCD.....	27
3.6.1. Conceito e classificação.....	27
3.6.2. Aspectos legais e normativos do RCD	28
3.6.3. Geração de RCD no Brasil	30
3.6.4. Reciclagem e reutilização de RCD.....	31
3.7. Melhoramento de solos com uso do RCD	33
4. METODOLOGIA.....	36
4.1. Informações Gerais	36
4.2. Método utilizado	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1. Linha do tempo das publicações	40
5.2. Publicações por região e estado	41
5.3. Classificação do solo e aplicação da mistura Solo-RCD	44
5.4. Classificação, beneficiamento e predominância do RCD.....	46

5.5. Ensaio realizado e resultado global.....	49
5.6. Desempenho da Adição de RCD ao Solo.....	52
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
6.1. Sugestões para trabalhos futuros	54
7. REFERÊNCIAS	55
ANEXO	61

1. INTRODUÇÃO

Na Engenharia, é comum deparar-se com situações nas quais o solo disponível para realização de uma obra não é o ideal. Normalmente, quando se tem um solo que apresente baixa capacidade de suporte, as soluções adotadas tradicionalmente pelos engenheiros tem elevado custo, o que pode, a depender do porte do empreendimento, inviabilizá-lo. Por isso, um dos grandes desafios da Engenharia Geotécnica atual é encontrar formas mais econômicas de resolver os problemas de estabilização de solos em obras de fundações superficiais, pavimentação e barragens (DALLA ROSA, 2009).

Em obras de engenharia, ao realizar a investigação do solo, preferencialmente esperase solos que apresentam materiais granulares (pedregulho, britas, areias grossas) devido às boas qualidades de suporte (estabilidade e resistência mecânica) que esses materiais possuem. No entanto, é comum não deparar-se com esse tipo de solo nas áreas que se deseja construir e para sanar este problema, o emprego das técnicas de melhoramento de solos pode permitir a construção segura em solos com características não ideais.

Dentre as técnicas de melhoramento de solo, a estabilização granulométrica com adição de agregados mostra-se como boa opção para solos que apresentam baixa capacidade de suporte (LEITE et al., 2016). Segundo Silva *et al.* (2019) um material que pode tornar-se agregado, reutilizado e de grande disponibilidade, que vem sendo utilizado no melhoramento de solos é o Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Este resíduo apresenta baixa periculosidade e é provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil ou resultantes da preparação e da escavação de terrenos. Seus componentes segundo a CONAMA 469/15 são tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeira e compensado, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plástico e tubulações.

O Brasil é um grande gerador de RCD, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), que observou, que os municípios coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD em 2017. A geração desses resíduos exige atenção quanto ao destino final, em vista que, quando inadequadamente descartados, podem causar diversos transtornos e impactos negativos ao meio ambiente, comprometendo os recursos naturais. A ABRELPE (2017) destaca ainda que quantidade total de RCD gerado é maior que o contabilizado, uma vez que os municípios coletam apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos.

Os RCD podem ser aplicados como agregados reciclados após passar por um processo de beneficiamento. Os agregados reciclados de RCD têm sido empregados em diversas áreas da construção civil de maneira satisfatória, inclusive no reforço de solos, por meio de sua estabilização granulométrica, proporcionando a estas menores deformações e melhores características resistentes (SILVA et al., 2019).

Diversos estudos apontam melhoria dos solos através da adição de RCD. Santos (2007), ao avaliar a aplicação de diferentes teores de agregado reciclado de RCD em estruturas de solo reforçado, como material de preenchimento, observou que o solo apresentou maior resistência mecânica quando comparado ao solo puro. Ferreira e Thomé (2011) observaram que através do uso do RCD, foi possível aumentar a capacidade de carga de um solo residual de basalto, bem como reduzir seu recalque. Dias (2014), utilizou agregados reciclados de RCD misturados a um solo tropical, os resultados mostraram que o acréscimo de RCD ao solo melhorou o comportamento hidromecânico do solo, evidenciando-se como uma alternativa viável e econômica para uso do melhoramento dos solos destinados as obras de engenharia.

A busca por opções que proporcionem a melhoria das características de solos para serem aplicados em atividades de construção, assim como a adequada destinação dos resíduos RCD's justificam as pesquisas que envolvam o uso destes no melhoramento de solos. Estas pesquisas contribuem também para o alcance do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável ODS 11 estabelecida na Agenda 2030, que prioriza a segurança e sustentabilidade das construções. Nesse contexto, a presente pesquisa objetiva ampliar a diversidade de parâmetros geotécnicos, catalogar resultados pra fornecer embasamento pra soluções práticas, através de uma revisão sistemática sobre uso de RCD no melhoramento de solo no Brasil através de estudos acadêmicos nos últimos dez anos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Identificar as tendências do uso de RCD no melhoramento de solo no Brasil através de estudos acadêmicos nos últimos dez anos.

2.2. Objetivos específicos

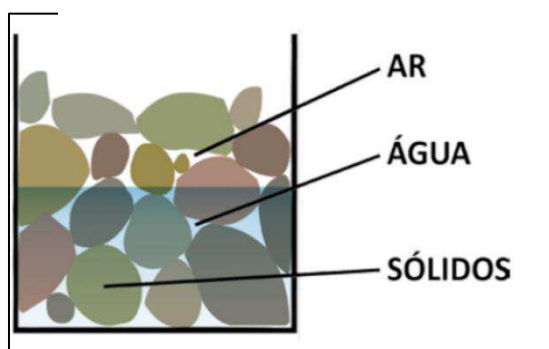
- Apresentar busca sistemática da literatura sobre o tema melhoramento de solo com uso de RCD.
- Identificar os principais usos e aplicações das misturas solo-RCD no Brasil.
- Mapear o uso de RCD por região brasileira no tratamento de solo.
- Avaliar o impacto no uso de RCD no melhoramento de solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Origem e formação do solo

Existem muitas definições para solo, de acordo com a finalidade e a área de estudo: Pinto (2011), por exemplo, define solo como o material resultante da decomposição e desintegração das rochas pela ação de agentes atmosféricos; Já para Souza e Bastos (2015), é um material particulado e heterogêneo, formado pela aglomeração de minerais através de processos naturais, os quais desintegram as rochas e os tornam solo, apresentando-se num sistema de três fases ar, água e sólidos como pode ser observado na Figura 1,

Figura 1: Partes constituintes do solo



Fonte: Souza e Bastos, 2015.

De acordo com Lepsh (2010), como o processo de intemperismo ocorre com a exposição à atmosfera, as rochas da litosfera sofrem ação direta do calor do sol, da umidade das chuvas e do crescimento de organismos. Assim, iniciam-se os processos que resultam em inúmeras modificações na composição química dos seus minerais e aspectos físicos.

Segundo Lima (2007) e Souza e Bastos (2015), o intemperismo pode ser classificado em químico, físico ou biológico.

- Intemperismo físico ou mecânico: provoca a desintegração da rocha, formando sedimentos de tamanhos diversos, porém sendo mantida a composição mineralógica da rocha matriz.
- Intemperismo químico: existe uma alteração da estrutura química das rochas, transformando um elemento da rocha original em outro, como em uma reação química. O principal agente do intemperismo químico é a água. Através de

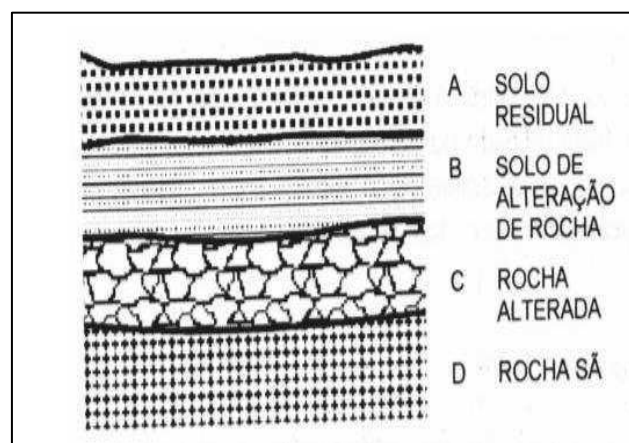
seu contato com outros elementos da natureza, como o ar ou a matéria orgânica, a água adquire propriedades capazes de reagir com os elementos constituintes de uma rocha, alterando quimicamente. A água pode agir, por exemplo, dissolvendo carbonatos ou transformando feldspatos e micas em argilas.

- **Intemperismo biológico:** ocorre quando os processos físicos ou químicos de intemperização são condicionados por um ser vivo. É muito comum pela ação de bactérias ou de fungos que, ao se incrustarem na superfície externa de rochas, ou em suas fraturas, liberam substâncias que alteram a composição química original do elemento. Também acontece quando raízes de árvores, em seu processo de crescimento, fraturam uma rocha com o intuito de ocupar seu lugar.

Assim como existem diferentes definições do solo, há várias maneiras de classificá-lo: quanto aos minerais presentes, quanto o diâmetro dos grãos, quanto ao horizonte e também quanto a origem, podendo tratar-se de um solo transportado ou residual.

Marques (2009) apresenta solos residuais como aqueles provenientes da decomposição e alteração das rochas “in situ”, além disso o autor apresenta uma subdivisão em horizontes e se organizam da superfície para o núcleo, como apresentado na Figura 2. A transição entre um horizonte e o outro é gradativa de modo que a separação entre eles pode ser arbitrária.

Figura 2: Configuração genérica de solos residuais



Fonte: Marques, 2009

Solos transportados são aqueles que sofreram algum tipo de transporte (água, vento, gelo, entre outros) e, portanto, não estão sobre a rocha que lhes deu origem. Eles

classificam-se segundo o agente de transporte, como solos aluviais (solos em que o agente transportador é essencialmente a água), solos eólicos (solos transportados pelo vento) e solos coluvionares (solos transportados pela ação da gravidade) (SOUZA e BASTOS, 2015).

Souza e Bastos (2015) apresentam solos orgânicos como resultantes da ação de agentes naturais sobre os solos residuais e transportados. São os que se caracterizam por apresentar como constituinte principal a matéria orgânica, proveniente de restos vegetais ou animais. Os mais comuns são as camadas sedimentares de argila, areia fina, silte com humus e turfas.

3.2. Classificação e identificação do solo

Cada sistema de classificação leva em conta um aspecto do solo, há um que leva em conta a origem dos solos, outro com base na textura, àquele que classifica segundo aspectos visual e tátil, pedologia e ainda um que leva em consideração parâmetros geotécnicos do solo. Contudo, segundo Caputo (1984), existem dois principais sistemas de classificação, sendo o: *Unified Classification System – U.S.C* (Sistema Unificado de Classificação), idealizado por Arthur Casagrande e a classificação *Transportation Research Board TRB*, antigo (HRB) *Highway Research Board*, que é o mais empregado atualmente para uso em estradas.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece faixas de graduação para diferenciar as frações de solo, classificando-a de acordo com sistema unificado de classificação dos solos (SUCS). A NBR 6502/1995 apresenta a classificação granulométrica dos solos conforme Tabela 1.

Tabela 1: Classificação granulométrica do solo

Fração	Limites
Pedregulho	>2mm
Areia grossa	0,6mm a 2mm
Areia média	0,2mm a 0,6 mm
Areia fina	0,06mm a 0,2mm
Silte	0,002mm a 0,06mm
Argila	<0,002mm

Fonte: Adaptada de NBR 6502/1995

Segundo Caputo (1984), de maneira geral, na classificação SUCS os solos são classificados em três grupos, como mostrado no Quadro 1:

Quadro 1: Classificação geral dos solos

Solos grossos	Cujo diâmetro da maioria absoluta dos grãos é maior que 0,074 mm (mais que 50% em peso, dos seus grãos, são retidos na peneira nº 200).
Solos Finos	Cujo diâmetro da maioria absoluta dos grãos é menor que 0,074 mm.
Turfas	solos altamente orgânicos e extremamente compressíveis.

Fonte: Adaptado de Caputo, 1984

Quadro 2: Sistema unificado de classificação dos solos (SUSC)

Classificação Geral	Tipos Principais	Símbolos
SOLOS GROSSOS (Menos que 50% passando na # 200)	Pedregulhos ou Solos Pedregulhosos	GW, GP, GM e GC
Areias ou Solos Arenosos		SW, SP, SM e SC
SOLOS FINOS (Mais que 50% passando na #200)	Siltosos ou Argilosos	Baixa Compressibilidade de (LL < 50) ML, CL e OL
		Alta Compressibilidade (LL > 50) MH, CH e OH
SOLOS ALTAMENTE ORGÂNICOS	Turfas	Pt

Fonte: Adaptado de Caputo 1984

O Quadro 2 apresenta os grupos do solo, no primeiro grupo enquadra-se pedregulhos, areias e solos com pequenas quantidades de materiais finos. Para o segundo grupo, temos solos mais finos de baixa ou alta compressibilidade. E para o último grupo, temos solos de regiões pantanosas e com alta taxa de decomposição vegetal acumulada.

Na classificação TRB, os solos são reunidos em grupos e subgrupos em função dos resultados de alguns ensaios, sendo eles: Granulometria por Peneiramento; Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, assim como também o índice IG, que é um

número inteiro variante entre 0 a 20, cuja função é determinar a capacidade de suporte do terreno, onde 0, significa ser um excelente solo para a fundação de um pavimento e 20, um material muito ruim. A Tabela 2, os solos granulares compõem os grupos A-1, A-2, A-3, e os solos finos, os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 e subdivisões.

Tabela 2: Classificação TRB

Classificação Geral	Materiais Granulares (35% ou menos passando pela peneira nº 200)			Materiais Siltosos e Argilosos (+ 35% passando pela #200)			
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupos	A-1-a A-1-b	A-2	A-2-4 A-2-5 A-2-6 A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6

Fonte: Sartori, 2015.

3.3. Propriedades do Solo

Além das características geológicas e dos tamanhos dos grãos do solo, a resistência e o comportamento do maciço estão condicionados a outras variáveis *in situ*, como por exemplo, a presença de água, compactação, índice de vazios e outros índices físicos. Para Fiori (2015) uma massa de solo pode ser descrita por suas propriedades físicas, como peso específico, teor de umidade, índices de vazios entre outras, e suas propriedades mecânicas, como ângulo de atrito interno, resistência ao cisalhamento, coesão[...]. Os índices físicos são relações matemáticas entre pesos e volumes dos componentes de uma massa de solo.

Segundo Pinto (2001) o comportamento do solo depende da quantidade relativa de cada uma das três fases. Os principais índices físicos para este estudo são: Teor de umidade, peso específico seco, porosidade e compactação. Pinto (2001), Caputo (1986) e Fiori (2015) definem os índices abaixo:

- **Teor de umidade:** Relação entre o peso da água e o peso dos sólidos. Expressa em porcentagem.
- **Porosidade:** Relação entre o volume de vazios e o volume total.

- **Peso específico seco:** Relação entre a massa de sólidos e o volume total. Corresponde ao peso específico que o solo teria se ficasse seco sem variação de volume
- **Compacidade:** Expresso relação entre o peso específico seco e o peso específico seco máximo, obtido pelo ensaio de compactação ou pela relação índices de vazios que se encontra, em relação aos índices de vazios máximo e mínimo.

3.4. Propriedades mecânicas do solo

O Comportamento mecânico é definido, principalmente, pela estrutura do solo, que é representado por características isoladas, tais como as dimensões dos grãos, e as características coletivas, tais como a presença ou não da água, a porosidade e a compacidade. Assim, o comportamento mecânico do solo é mensurado quanto à sua resistência ao cisalhamento que, segundo Fiori (2015), é definida como a maior tensão de cisalhamento que o solo pode suportar sem sofrer ruptura. As características de cisalhamento do solo são representadas pela coesão do solo, pelo ângulo de atrito e a resistência na condição não drenada (ORTIGÃO, 1995).

De acordo com Silva e Carvalho (2007) a coesão do solo é a força de atração entre as superfícies de suas partículas. Há dois tipos de coesão: coesão real e aparente. Para Souza e Bastos (2015) a coesão real é resultado do efeito de agentes cimentantes, como teor de óxidos e de argilas silicáticas bem como o resultado da atração entre partículas próximas por forças eletrostáticas. A coesão aparente é resultado da tensão superficial da água nos capilares do solo, formando meniscos de água entre as partículas dos solos parcialmente saturados, que tendem a aproximá-las entre si (SILVA; CARVALHO, 2007).

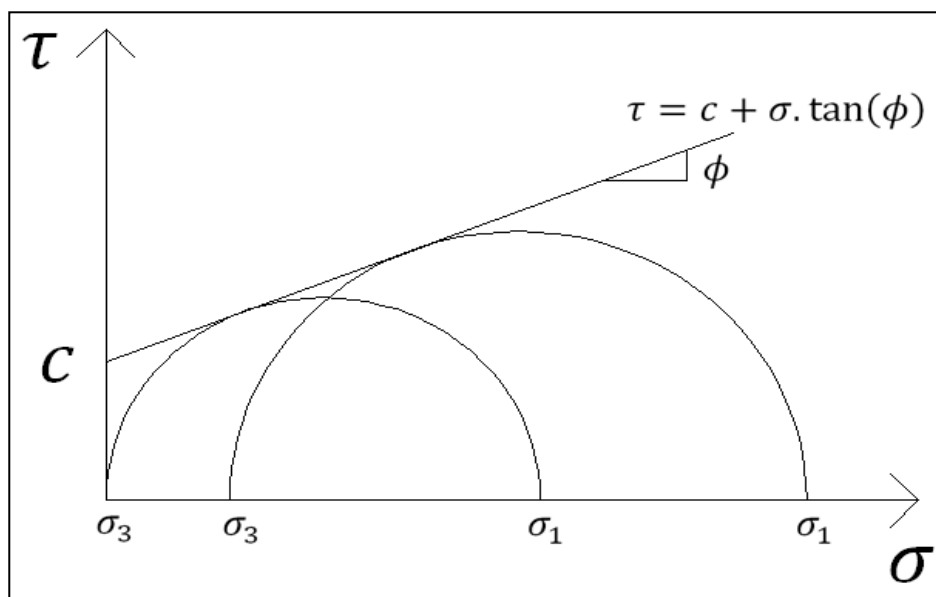
Quanto ao fenômeno de atrito no solo, diferentemente do fenômeno de atrito entre dois corpos, o deslocamento na massa de solo envolve um grande número de grãos, que podem deslizar entre si ou rolar uns sobre os outros, acomodando-se em vazios que encontram no percurso.

Os parâmetros de resistência do solo ao cisalhamento são determinados pelos os ensaios de cisalhamento direto, compressão simples e compressão triaxial. De acordo com Souza e Bastos (2015), o ensaio de compressão simples é o método mais simples e rápido para determinar a resistência ao cisalhamento de solos coesivos e somente deste

tipo de solo. O ensaio fornece o valor da coesão e resistência não drenada, para isso deve ser feito com amostra indeformada e conservando sua umidade natural. Pode ainda ser usado para amostras de solos compactados.

Souza e Bastos (2015) afirmam que as propriedades mecânicas do solo podem variar bastante, repercutindo em comportamentos distintos. Geralmente solos grossos possuem a parcela do ângulo de atrito maior que solos finos, em contrapartida os solos finos apresentam uma coesão maior que os solos grossos. Na Figura 3, observa-se as parcelas de coesão e ângulo de atrito que contribuem para a resistência do solo ao cisalhamento. A coesão é representada pelo valor numérico da intercessão entre a envoltória e eixo das ordenadas, já o ângulo de atrito é representado valor numérico da inclinação da envoltória em relação ao eixo das abscissas.

Figura 3: Envoltória Mohr-Coulumb



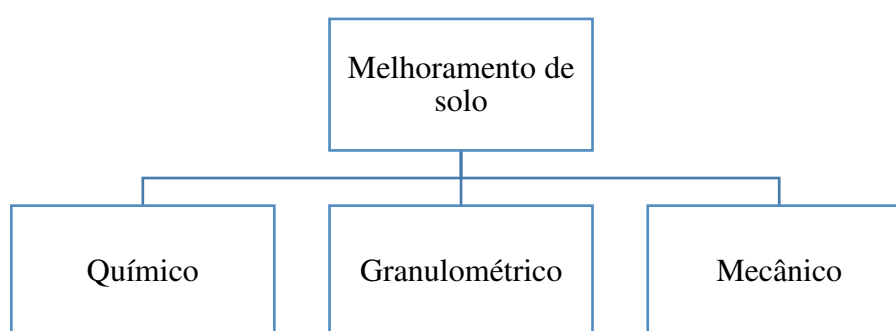
Fonte: Souza e Bastos, 2015 (adaptada).

Segundo Buligon (2015) a variação dessas parcelas é gigantesca e depende do tipo de solo, tendo como fator preponderante as combinações entre as propriedades físicas e mineralógicas de cada um. Por esses e outros motivos, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos para melhorar o comportamento do solo.

3.5. Melhoramento ou estabilização dos solos

Segundo Vargas (1977) denomina-se como estabilização dos solos o processo pelo qual se confere ao solo uma maior resistência estável às cargas, ao desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção da sua granulometria e de sua plasticidade ou de adição de substâncias que lhe conferem uma coesão proveniente da cimentação ou aglutinação dos grãos. Em resumo pode-se classificar o melhoramento do solo em três tipos, químico, granulométrico e mecânico, conforme Figura 6.

Figura 4: Tipos de melhoramento



Fonte: Adaptado de Vargas (1977)

Especificamente a estabilização granulométrica, consiste na combinação e manipulação de solos, em proporção adequada, de forma a obter um produto final de estabilidade maior que os solos de origem, e adequado para a aplicação em cada caso particular (VILLIBOR, 1982)

De acordo com Senço (2001), nessa modalidade de estabilização, em linhas gerais, a distribuição das porções de tamanhos diferentes deve ser tal que os vazios dos grãos maiores sejam preenchidos pelos grãos de tamanhos intermediários, e os vazios desses, sejam preenchidos pelos grãos de pequeno tamanho. O conjunto resultante, de estrutura densa, deve representar um produto de massa específica aparente superior àquela que seria apresentada pelo material original não estabilizado, o que lhe confere maiores resistência e rigidez e menor permeabilidade, além de exigir, em caso do uso de algum aglomerante, como cimento, asfalto, cal e outros, o mínimo consumo desse aglomerante.

Segundo Rodrigues (2018) o método utilizado para se determinar a dosagem das frações de pedregulho, areia, silte e argila, a fim de se obter uma curva bem graduada e uma plasticidade adequada deve-se ao processo de comparação a partir de suas

respectivas curvas granulométricas, definindo-se as proporções dos materiais a serem adicionados na mistura. Estas misturas podem ser feitas em usinas, o que seria um processo ideal, porém com um custo elevado, ou com arados misturadores com a umidade ótima de compactação.

O segundo método de estabilização, o melhoramento mecânico de solo. Segundo Vargas (1977), a compactação do solo é o processo que consiste em densificar o solo através de: equipamentos mecânicos, aplicação de pressão, e impacto ou vibração, seja este em campo ou em laboratório. No campo, geralmente usa-se um rolo compactador para obras de maior significância onde se deseja um melhor controle tecnológico, já em pequenas obras usa-se geralmente equipamentos de menor porte, como compactador mecânico à combustão ou até mesmo equipamento improvisado no local como soquetes demão. Wallau (2004) afirma que para se alcançar uma maior resistência do solo, é necessário obter a maior quantidade de partículas sólidas por unidade de volume, aumentando assim sua massa específica aparente. Esse aumento da massa específica aparente é mensurado através do ensaio de compactação que determina a energia de compactação para a melhor situação, que resulta na massa específica aparente máxima, obtendo-se a menor porcentagem de vazios, com o melhor entrosamento entre as partículas.

A estabilização química consiste em promover a mistura de agentes cimentantes e pozolânicos no material, melhorando assim as suas propriedades mecânicas (Oliveira, 2010). Os estabilizantes químicos provocam reações como troca catiônica com partículas de argilas, reações cimentícias e pozolânicas. Neste sentido a estabilização química é fundamental para conferir coesão, derivada da cimentação ou aglutinação das partículas do solo.

Devido a necessidade da realização de obras de engenharia em solos não ideais, muitos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de melhorar os solos não ideais. Cristelo (2001) pesquisou o melhoramento do solo com adição da cal, em termos de resistência mecânica, foi registrado aumento de até 10 vezes o valor inicial da resistência do solo. O efeito da mistura da cal com cloreto de sódio, verificou-se que esta constitui uma opção viável, na medida em que permite uma redução dos custos, sem perda de qualidade em termos de resistência mecânica e susceptibilidade à água.

Tessari *et al.* (2016) estudou a adição de Dry Pit (escória de alto forno resfriada ao ar) e escória KR (escória de aciaria originada no processo de pré-tratamento de dessulfuração do ferro gusa pelo processo de KambaraReactor) como aditivos para a

estabilização química de um solo. A partir dos resultados obtidos, observou-se que a escória KR é um bom agente estabilizante tanto aplicado como adição única, quanto em conjunto com o cimento. A escória Dry Pit como adição única apresentou ganhos de resistência pouco expressivos. No entanto, quando adicionada em conjunto com o cimento obteve ganhos de resistência significativos, mostrando que houve uma boa interação entre esses materiais.

Rodrigues (2018) realizou misturas de rejeito de espirais de mineração resultante do processo de beneficiamento de minério de ferro, com dois tipos de solos regionais. As misturas do tipo solo-rejeito investigadas no presente estudo foram constituídas por percentagens de 0%, 10%, 20% e 30% de rejeito, em termos de massa seca total da mistura. Foram realizados ensaios de caracterização e de resistência nos materiais. Os resultados mostraram um aumento da massa específica aparente seca máxima, do *California Bearing Ratio* CBR e do Módulo de Resiliência com a gradual adição do rejeito, sobretudo para as adições de rejeito de 10% e 20%.

Cruz (2004) realizou uma pesquisa inserindo baixo teor de cimento, não ultrapassando o valor de 10% da massa do solo seco. Os resultados obtidos demonstraram que os primeiros sete dias de cura são fundamentais para o ganho de resistência das misturas, ressaltando que a maior parte das reações de hidratação ocorrem durante esse período.

Em pesquisa realizada por Foppa (2005) foram realizados ensaios de resistência à compressão simples em solo residual de arenito Botucatu classificado como areia fina, ao qual foram adicionadas percentagens de cimento de alta resistência inicial de 1% a 7%, calculadas em relação à massa de solo seca. A adição do agente químico promoveu ganhos significativos de resistência ao material.

Segundo Sandroni e Consoli (2010) quase todos os tipos de solos podem ser estabilizados, podendo para tanto ser utilizados diversos tipos de cimentos. A adição de cimento nas misturas cresce com o aumento do percentual de finos presentes no solo. Esse fato segundo Almeida (2016) pode ser explicado pois solos finos, apresenta presença de frações coloidais de pequenas dimensões que não comportam a difusão dos íons, dificultando a hidratação do cimento e impedindo o crescimento dos cristais, uma vez que, parte do ligante não colaborará para a estabilização da microestrutura. Por isso, as amostras de solo-cimento devem ser primeiramente submetidas a ensaios de compactação, utilizando-se a energia adequada para se obter maior grau de compacidade. Além disso, o material deve passar por um período de cura para promover o

endurecimento da mistura e ser submetida posteriormente ao ensaio de compressão simples, de forma a avaliar os avanços de resistência mecânica e durabilidade.

3.6. Resíduos de construção e demolição- RCD

Uma opção que vem sendo estudada para o melhoramento de solo é a utilização de resíduo da construção civil (RCD). Isso se dá por alguns motivos, um deles é o grande volume gerado, necessitando-se de uma destinação correta, sem que haja grandes impactos ambientais. Outro ponto importante é que RCD apresenta-se como excelente material agregado, melhorando o comportamento mecânico do solo.

3.6.1. Conceito e classificação

A Resolução nº 469/15 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos Resíduos da Construção Civil e Demolição- RCD e define-os como sendo:

Resíduos 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, madeira e compensado, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2002).

De forma geral, os RCD's são vistos como resíduos de baixa periculosidade, tendo como principal impacto o grande volume gerado. Contudo, nesses resíduos também são encontrados materiais orgânicos, produtos perigosos e embalagens diversas que podem acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores causadores de doenças (KARPINSKI, 2009). Os RCD são divididos em 4 (quatro) classes de acordo com os critérios definidos pelo CONAMA, conforme Quadro 3.

Segundo Piovezan (2007), a diferenciação dos RCD nessas quatro classes distintas possibilita ao gerador realizar um melhor manejo e segregação dos resíduos. Desta forma, o gerador poderá identificar quais as diferentes soluções para os distintos resíduos produzidos no seu empreendimento, atingindo dessa maneira, um menor custo de disposição final e ganhos socioambientais.

Quadro 3: Classificação dos RCD de acordo com o CONAMA.

Classes	Descrição
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: solos provenientes de terraplanagem, argamassa, componentes cerâmicos e concreto (blocos, peças pré-moldada e moldada <i>in loco</i>).
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução CONAMA nº 469/2015).
C	Resíduos que ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução CONAMA nº 431/11).
D	Resíduos perigosos tais como: tintas, solventes, óleos e outros oriundos de clínicas radiológicas, instalações industriais e telhas e demais objetos que contenham amianto (esta classe passou a vigorar com a nova redação da Resolução nº 348/04 do CONAMA

Fonte: Adaptado de CONAMA (2002; 2004; 2011 e 2015).

No entanto, Mesquita (2012) destaca que a composição média dos resíduos de construção varia conforme a região e o período de análise, não sendo possível a fixação de valores definitivos para a porcentagem dos diversos componentes. Mesmo para um mesmo local de amostragem pode-se ter grandes variações na participação de alguns materiais. Isto pode dificultar até mesmo a determinação de faixas para as porcentagens dos diferentes tipos de resíduos.

3.6.2. Aspectos legais e normativos do RCD

Os RCD estão sujeitos à legislação federal referente aos resíduos sólidos, à legislação específica de âmbito estadual e municipal, bem como às normas técnicas brasileiras. Tratando-se do âmbito nacional, no Quadro 4 destacam-se os instrumentos legais, na esfera nacional, relacionados à gestão e ao gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil elencados em ordem cronológica decrescente. A Resolução CONAMA no 307/2002 é considerada o principal marco regulatório para a gestão dos RCD e dispõe sobre a responsabilidades dos municípios em implementarem seus planos de gerenciamento integrado de RCD, bem com diretrizes, critérios e procedimentos para o manejo adequado destes resíduos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) publicou em 2004 uma série de normas relativas aos resíduos sólidos e aos procedimentos para o gerenciamento dos RCD, de acordo com a Resolução CONAMA N° 307 (Brasil, 2002). O Quadro 5 descreve algumas normas técnicas brasileiras relativas ao assunto

Quadro 4: Instrumentos legais e normativos de abrangência nacional

Documento	Descrição
Decreto nº 7.04/2010	Regulamenta a lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a PNRS, cria o comitê interministerial da política Nacional de Resíduos Sólidos e Comitê Orientador para a implantação dos sistemas de logísticas reversa e dá outras providências.
Lei Federal nº 12.305/2010	Institui a PNRS, altera a lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
Lei Federal nº 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº 8.036 de 11 de maio de 1990, nº 8.666 de 21 de junho de 1993, e nº 8.987 de 13 de fevereiro de 1995, revoga a lei nº 6.528 de 11 de maio de 1978 e dá outras providências.
Resolução nº 348/2004	Altera a Resolução Conama nº 307, 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.
Resolução nº 307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCC
Lei Federal nº 10.257/2001	Estatuto da Cidade, regulamenta os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
Lei Federal nº 9.605/1998	Lei de Crimes, Ambientais: dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei Federal nº 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismo de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Fonte: Adaptado de IPEA (2012)

Quadro 5: Normas técnicas brasileiras relacionadas aos resíduos sólidos e aos RCD.

Norma	Descrição
NBR 10.004	Resíduos sólidos (classificação).
NBR 15.112	Resíduos da construção civil (RCD e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem).
NBR 15.113	RCD e resíduos inertes – aterros.
NBR 15.114	RCD – áreas para reciclagem.
NBR 15.115	Agregados reciclados de RCD – execução de camada de pavimentação.
NBR 15.116	Agregados reciclados de RCD – utilização em pavimentação e concreto sem função estrutural.

Fonte: Adaptado de IPEA (2012)

3.6.3. Geração de RCD no Brasil

A indústria da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais e conseqüentemente, um dos maiores geradores de resíduos sólidos. Os resíduos gerados em canteiros de obra são as sobras do processo construtivo, ou seja, o processo de produção de um dado edifício, desde a tomada de decisão até a sua ocupação (LEITE, 2014).

A geração de RCD durante a fase de construção é decorrente das perdas nos processos construtivos. Quantitativamente, a geração de RCD é diferente entre várias localidades, devido a diversos fatores, como número de habitantes, leis e regulamentações específicas, processos construtivos, incluindo as peculiaridades de cada construtora, e ainda o momento da construção civil. Assim, essas características interferem diretamente no tipo e na quantidade de resíduo gerado (LLATAS, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2011; CARDOSO *et al.*, 2014).

Segundo a ABRELPE (2019), os serviços de limpeza dos municípios coletaram, em 2018, 122.012 toneladas desse tipo de resíduo por dia, um pequeno recuo comparado com 2017, coletado 123.21 toneladas. A queda, registrada em todas as regiões, foi mais acentuada no Centro-Oeste (2,35%) – justamente onde o volume por habitante é maior (0,824 quilo por dia). Como nessa área o responsável A responsabilidade do recolhimento deste tipo de resíduo é, segundo o CONAMA, do gestor da obra. Desta forma, os números apresentados no Quadro 6 refletem, majoritariamente, apenas a quantidade de RCD descartada inadequadamente em vias e logradouros públicos.

Quadro 6: Quantidade total de RCD coletados pelas regiões do Brasil.

Região	2017		2018	
	Total (tonelada/dia)	Per capita (kg/habitante/dia)	Total (tonelada/dia)	Per capita (kg/habitante/dia)
Norte	4.727	0,264	4.709	0,259
Nordeste	24.858	0,429	24.123	0,425
Centro-oeste	13.574	0,855	13.255	0,824
Sudeste	64.063	0,77	63.679	0,726
Sul	16.472	0,556	16.246	0,546
Brasil	123.421	0,594	122.012	0,585

Fonte: Abrelpe/IBGE, 2019

Na grande maioria dos municípios, a maior parte dos RCD's é depositado em botaforas clandestinos, em margens de rios e córregos ou terrenos baldios. A deposição irregular de RCD ocasiona proliferação de vetores de doenças, entupimento de galerias e bueiros, assoreamento de córregos e rios, contaminação de águas superficiais, sobrecarregamento de aterro sanitários e poluição visual (OLIVEIRA, 2008). Além da poluição visual, contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo, o setor de construção civil absorve cerca de 14% a 50% dos recursos naturais (CARDOSO *et al*, 2014).

3.4.4 Reciclagem e reutilização de RCD

Uma solução para o RCD é sua reciclagem: a reutilização como matéria-prima alternativa na própria construção civil. Além de redução da exploração de jazidas, recursos não renováveis, há também a problemática em torno do transporte para correta disposição dos resíduos da construção, que a cada vez se torna mais distantes, onerando custos de manejo deste material. A reciclagem de RCD contribui também para a ampliação da vida útil dos aterros, especialmente em grandes cidades, em que a construção civil é intensa e há escassez de área para deposição (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

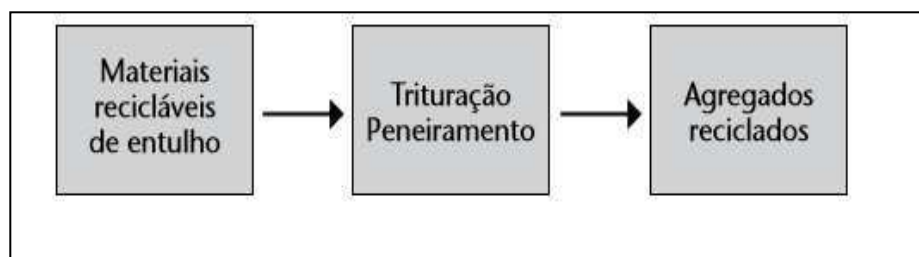
Ainda de acordo com Brasileiro e Matos (2015) a reciclagem de RCD, independente do uso que a ele for dado, representa vantagens econômicas, sociais e ambientais, tais como:

- Economia na aquisição de matéria-prima, devido a substituição de materiais convencionais, pelo entulho;
- Diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas consequências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos, e
- Preservação das reservas naturais de matéria-prima.

Costa (2007) destaca que se obtém uma economia de 67%, em média, quando comparados os preços do agregado reciclado e do agregado natural. No entanto, a Abrecon (2019) alerta que a reciclagem de resíduos da construção e demolição no Brasil ainda é incipiente, necessitando de pesquisas que reincorporem esse tipo de resíduos ao processo produtivo na própria construção civil.

O processo de reciclagem do RCD, para a obtenção de agregados, basicamente envolve a seleção dos materiais recicláveis e a trituração em equipamentos apropriados. O conhecimento dos resíduos que compõem o entulho é uma das referências iniciais mais importantes na compreensão técnica da reciclagem (CEMPRE, 2018). A sequência deste processo pode ser visualizada na Figura 7.

Figura 5: Fluxograma do processo de reciclagem de RCD



Fonte: Cempre, 2018

Os resíduos encontrados predominantemente no entulho, que são recicláveis para a produção de agregados, pertencem a dois grupos, conforme a NBR15116/2004:

- **Grupo I** – materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concreto, argamassas, blocos de concreto, acima de 90%.
- **Grupo II** – materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos, acima de 10%.

O Quadro 7 apresenta diversos exemplos de agregados reciclados do RCD de obras no Brasil, além de suas características e usos comuns.

Nos últimos anos, o uso de RCD vem chamando atenção como alternativa para o melhoramento do solo, apresentando-se com viabilidade técnica positiva, atentando-se para um bom controle de proporção da mistura (solo-resíduo) de aplicação e de execução, possibilitando obter misturas solo-RCD com desempenho satisfatório (SILVEIRA; BORGES, 2016). Para Luz (2008) esse aproveitamento do RCD pode contribuir para que se reduza a poluição por resíduos sólidos antes considerados inúteis, tornando-os uma espécie de “nova” matéria-prima, promovendo-os no status econômico e ambiental.

Quadro 7: Composição média de RCD de obras no Brasil

Produto	Características	Uso recomendado
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.
Bica corrida	Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).	Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.
Rachão	Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Fonte: ABRECON, 2019

3.7. Melhoria de solos com uso do RCD

Segundo Ferreira e Thomé (2011), que estudaram a utilização RCD como reforço de um solo, servindo como base de fundações superficiais, a mistura de solo-RCD com 50% de resíduo na sua composição apresentou o melhor resultado de resistência. Através de ensaios de placa, notou-se um aumento da carga de ruptura em 264% com a adição de resíduo no solo. Houve também um aumento nos módulos de elasticidade do solo-RCD

quando comparado ao solo natural. Os resultados obtidos mostram a viabilidade técnica da utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais.

Silva et al (2016), estudaram a aplicação de RCD em misturas com solo e obtiveram por meio dos ensaios de análise granulométrica, massa específica dos grãos, limites de consistência e compactação, valores favoráveis à utilização do RCD como substituto no reforço de solos. Os resultados da granulometria mostraram que o RCD aumenta o percentual de grãos grandes, facilitando a passagem de água pelo material. Já a massa específica dos grãos e os limites de consistência se mantêm basicamente estabilizados em valores próximos. Por fim, a compactação demonstra uma redução no teor de umidade ótimo e um aumento da massa específica aparente seca, partindo do solo para crescentes percentuais de RCD na mistura.

Pivetta e Vendruscolo (2017), a partir de ensaios de cisalhamento direto, determinaram o comportamento tensão \times deslocamento horizontal de 4 misturas com teores de RCD variando de 0%-75%. Com resultados deste ensaio observou-se um aumento da tensão cisalhante máxima com o acréscimo da tensão normal. Constatou-se que ocorreu um decréscimo da coesão e um aumento do ângulo de atrito quando comparados os resultados do solo compactado sem adição de resíduo com o solo compactado com adição de RCD, apresentado no Quadro 8.

Quadro 8: Resultados dos parâmetros de cisalhamento de acordo com a porcentagem de RCD.

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

Fonte: Pivetta, Vendruscolo, 2017.

Nieheus e Steiner (2018) realizaram misturas de solo com 30, 50 e 70% de agregado de resíduo de concreto, totalizando seis combinações, e ensaios físicos de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade para os materiais puros e para as misturas, os quais permitiram classificar os mesmos pelo sistema Highway

Research Board. Diante dos resultados concluiu-se que o agregado de resíduo de concreto é viável para estabilização de solo argiloso e como alternativa para destinação dos resíduos provenientes da construção civil, os quais representam cerca de 50% dos resíduos sólidos produzidos no Brasil.

Dessa forma, o uso de RCD para melhoramento de solo apresenta-se como excelente alternativa, visto que alia a destinação correta do resíduo, reincorporando ao processo produtivo da construção e apresenta-se como material agregado, incorporando a solos não ideais, promovendo o aumento das construções seguras e sustentáveis.

4. METODOLOGIA

4.1 Informações Gerais

Para obtenção de dados da presente pesquisa utilizou-se da revisão bibliográfica sistemática. A revisão sistemática, é planejada para responder uma pergunta específica, utilizando métodos explícitos e sistemáticos para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos. Esta permitir que outros pesquisadores possam fazer uso desses resultados com maior confiabilidade, possibilitando reutilizar estudos já finalizados, focando apenas no tópico em que se deseja pesquisar. Os resultados dessa revisão sistemática permitirão identificar lacunas na teoria que podem ser exploradas por outros pesquisadores (CONFORTO *et all*; 2011, SOARES *et all*; 2016).

4.2 Método utilizado

Para este estudo foi escolhido o método de Farenhof; Fernandes (2016), nomeado Systematic Search Flow (SSF). O método tem como objetivo desenvolver uma revisão sistemática para deixar o processo de busca mais claro e sistêmico, evitando o viés do pesquisador. O presente trabalho, porém, não segue a diretriz de que mais de duas pessoas devem conduzir a revisão sistemática, em função de ser um trabalho individual. O Quadro 9 expõe a estruturação do SSF.

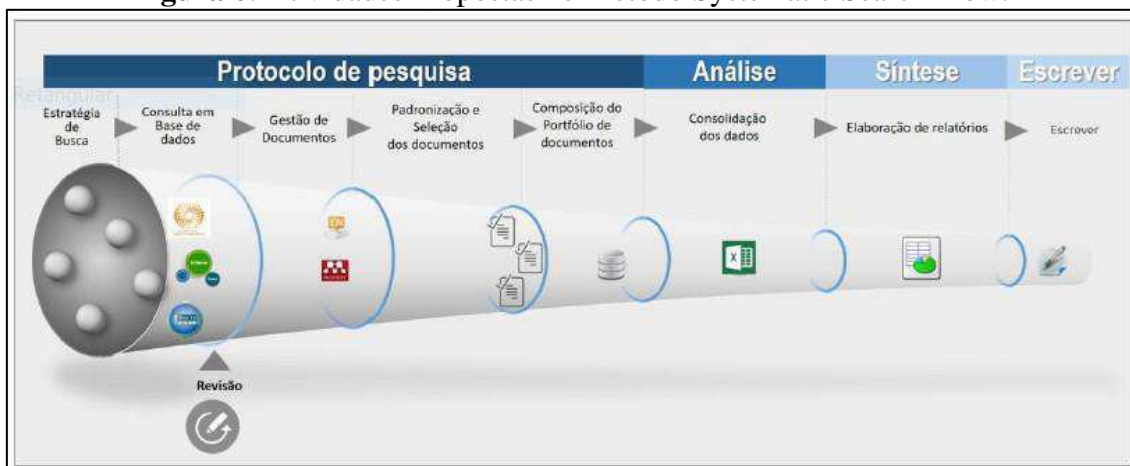
Quadro 9: Estruturação do Método SSF

Estruturação do método SSF	
I.	Mapeamento do campo mediante uma revisão de escopo
II.	Pesquisa exaustiva
III.	Avaliação da qualidade compreende a leitura e seleção dos trabalhos
IV.	Extração de dados, refere-se à coleta e captura de dados relevantes em uma planilha pré-concebida.
V.	Síntese, compreende dados extraídos para mostrar o que é conhecido e fornece a base para estabelecer o desconhecido
VI.	Escrever

Fonte: Farenhof, Fernandes (2016).

O método *SSF* é composto por 4 fases e 8 atividades, que podem ser observadas na Figura 6. Abaixo estão descritos os passos para realização da presente pesquisa.

Figura 6: Atividades Propostas no Método Systematic Search Flow.



Fonte: Farenhof, Fernandes (2016).

I. Protocolo de Pesquisa:

Etapa 1: Estratégia de busca

Foi definido a temática a ser trabalhada na pesquisa: Produções científicas brasileiras sobre Uso do RCD no melhoramento do solo.

Etapa 2: Consulta em Banco de dados

Na presente pesquisa foram utilizados dados de produções científicas brasileiras baseadas em dissertações e teses publicadas no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES e artigos científicos publicados no Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Geotecnia (COBRAMSEG). Essas plataformas foram escolhidas, pois, juntas, representam praticamente toda a produção científica relacionado ao tema de estudo no Brasil. O COBRAMSEG é maior evento científico promovido a cada 2 anos pela Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS) e o Catálogo de Dissertações e Teses da CAPES, o repositório digital do órgão federal de controle e fomento da pós graduação *stricto sensu* no Brasil.

Etapa 3: Organização dos resultados

Devido ao grande número de trabalhos presentes nas plataformas escolhidas, foi necessário estabelecer o intervalo de publicações 2010-2019 sobre uso de RCD no melhoramento de solo, assim foi possível identificar as produções brasileiras publicadas nos últimos 10 anos sobre a temática proposta.

Etapa 4: Filtragem dos trabalhos já organizados

Na quarta etapa, foi realizado a filtragem dos artigos já organizados. Houve duas metodologias de busca dos trabalhos. Para os artigos do COBRAMSEG, foram baixados os anais de cada ano do evento em arquivo rar, descompactado e leu-se cada título. Para os trabalhos da CAPES, por ter uma plataforma digital e automatizada, a busca se deu pelo os seguintes filtros:

- I. Palavras-chave: RCC, RCD E Resíduo de construção
- II. Ano: 2010 a 2019
- III. Grande área de conhecimento: Engenharias
- IV. Área de conhecimento: Engenharia Civil
- V. Área de avaliação: Engenharia I
- VI. Área de concentração: Mecânica dos solos, Geotecnia, Infraestrutura, Gerenciamento de resíduos, Estrutura-Geotecnia, Ambiental-Geotecnia

Por fim, ocorreu a leitura de todos os resumos (*abstracts*) dos trabalhos selecionados. Foram excluídos os documentos que destoaram da temática principal da pesquisa e selecionados os trabalhos que mais apresentavam afinidade com o tema proposto. Para os artigos do COBRAMSEG, foram selecionados inicialmente 30 trabalhos de um universo de 3018. Na plataforma CAPES foram selecionados 18 trabalhos de um universo de 399. Desta forma no total foi considerada 3417 produções científicas sendo selecionadas 48.

Etapa 5: Portfólio dos trabalhos

Foi realizado a leitura de todos os trabalhos científicos selecionados na etapa 4, assim foi possível selecionar minuciosamente os materiais com representativos para a pesquisa, dessa forma, foram escolhidos 34 trabalhos dos 48 selecionados na etapa anterior.

II. Análise

A segunda fase da pesquisa utilizando o método *Systematic Search Flow* objetivou fortalecer os dados obtidos na fase anterior. Todos os dados obtidos foram reunidos no *Software Excel*, assim foi possível organizar a base de dados e obter um conhecimento mais sólido sobre a temática. Para alimentação da base de dados foram utilizadas as seguintes informações presentes em cada trabalho escolhido:

- I. Ano da publicação
- II. Região que foi realizada a pesquisa
- III. Estado que foi realizada a pesquisa
- IV. Tipo de solo
- V. Finalidade de uso da mistura
- VI. Tipo de RCD
- VII. Beneficiamento do RCD
- VIII. Tipo de Beneficiamento do RCD
- IX. Predominância do RCD,
- X. Ensaio realizados pelos autores
- XI. Resultados mais relevantes dos periódicos

Nessa fase foi possível obter interpretação do que já havia sido selecionado e estudado, identificando os padrões e as lacunas de cada periódico escolhido.

III. Síntese

Foi realizada a condensação dos resultados obtidos na fase II. Assim, foi possível obter gráficos e tabelas sobre o conjunto de periódicos e seus resultados.

IV. Escrever

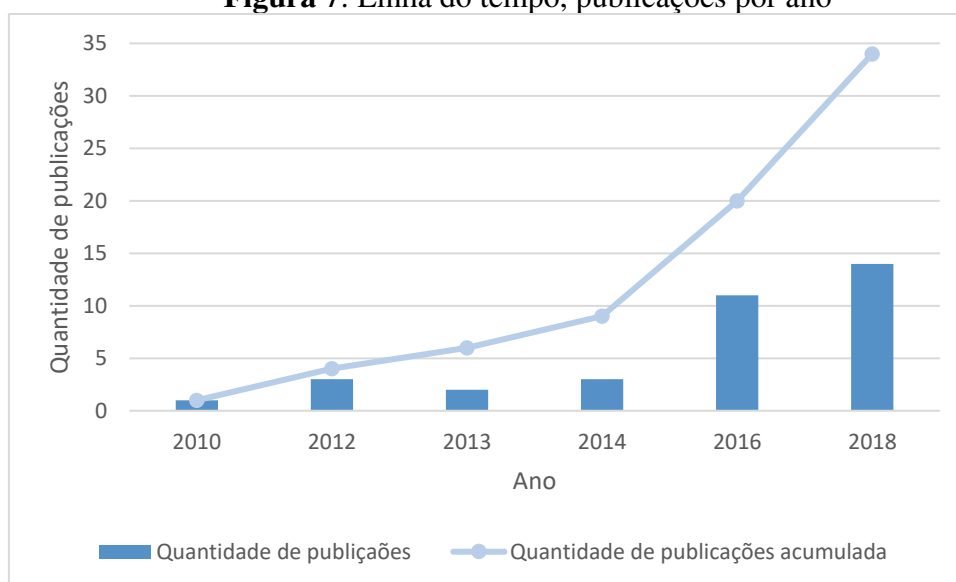
Na última fase foi realizada escrita científica sobre o tema estudado tendo como base os resultados das fases anteriores. Foi possível expor as tendências e lacunas presentes nos periódicos escolhidos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Linha do tempo das publicações

A Figura 7 apresenta a distribuição dos trabalhos encontrados. Os anos representados em sua maioria são pares, com exceção do ano de 2013 com publicações científicas da CAPES, pois o COBRAMSEG é realizado em anos pares. Os trabalhos obtidos, nas bases do COBRAMSEG e CAPES possuem uma distribuição mais concentrada nos últimos dois anos, registrando o maior número de publicações no ano de 2018. A linha de frequência acumulada da Figura 7 mostra o crescimento das publicações envolvendo o uso do RCD no melhoramento do solo ao longo dos anos, com crescimento acentuada entre os anos de 2014 e 2016.

Figura 7: Linha do tempo, publicações por ano



Pode-se entender o crescimento de publicações devido a três principais motivos: crescimento da construção civil no Brasil na última década, compromisso da humanidade com o desenvolvimento sustentável e aumento do investimento em ensino superior e pesquisa no Brasil.

Kureski (2018) expõe que construção Civil é fundamental para os ciclos de crescimento no Brasil, e incentivos como concessão de créditos, juros mais compatíveis e incentivos fiscais aumentaram nos últimos anos a produção da indústria da construção civil. Outro fato que comprava o crescimento setorial no período em nível nacional, é uma expansão do valor agregado dessas empresas em um percentual bastante superior a outros setores (FIRJAN, 2020). O crescimento do setor pressupõe uma crescente geração

de resíduos, necessitando assim de uma destinação correta, dessa forma aumentando custos indiretos das obras, com transporte e destinação.

Por outro lado, a busca por medidas e soluções sustentáveis, tornaram-se tendência necessária neste século. A agenda 2030, Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11) mostra que transformar significativamente a construção e a gestão dos espaços urbanos é essencial para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado. Temas intrinsecamente relacionados à urbanização, como mobilidade, gestão de resíduos sólidos e saneamento, estão incluídos nas metas do ODS 11, bem como o planejamento e aumento de resiliência dos assentamentos humanos, levando em conta as necessidades diferenciadas das áreas rurais, periurbanas e urbanas (WHO, 2015). Destaca-se duas metas, 11.3 e 11.6, fortemente ligadas à reutilização dos resíduos e uma urbanização sustentável:

11.3 Até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e a capacidade para o planejamento e a gestão participativa, integrada e sustentável dos assentamentos humanos, em todos os países. (WHO; 2015)

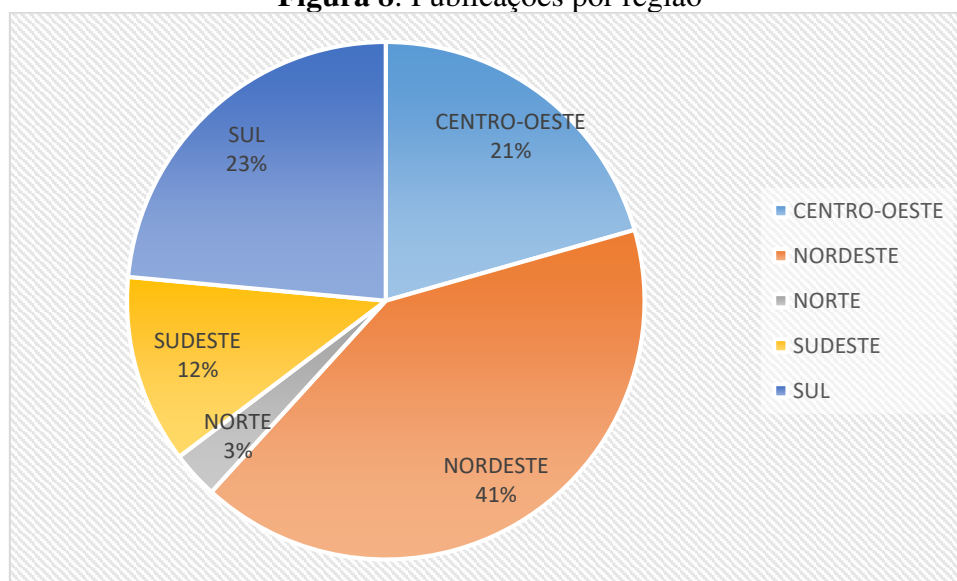
11.6 Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros. (WHO; 2015)

Cirani, Campanario e Silva (2015) mostram que a taxa de uma taxa de crescimento de 114,2% de cursos Engenharia no período de 2001 a 2011, diferenciando-se entre as grandes áreas do conhecimento. Atualmente são 122.295 estudantes de pós-graduação, dos quais 76.323 são de mestrado acadêmico, 4.008 de mestrado profissional e 41.964 de doutorado. Os cursos de mestrado e doutorado mais que dobraram em 15 anos, se em 2000 havia 1.439 programas disponíveis, o número saltou para 3.905 em 2015. (ANPG, 2018)

5.2. Publicações por região e estado

Na Figura 8 é apresentada a distribuição de trabalhos pelas regiões do Brasil e pode-se observa-se que a região Nordeste apresentou 14 publicações (artigos, teses e dissertações), isolando-se como a região que mais publicou sobre o assunto. Em seguida, a região Sul com 8 publicações, Centro-Oeste com 7 publicações, Sudeste com 4 publicações e a região Norte representada por 1 publicação.

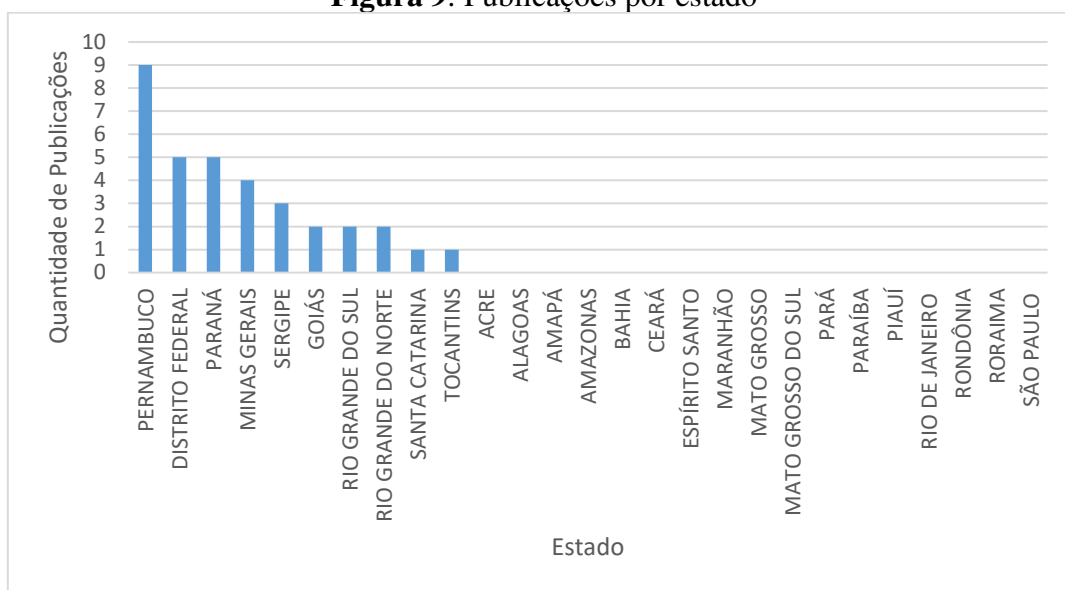
Figura 8: Publicações por região



Dos 27 estados federativos, 10 estados foram representados com publicações (Figura 9). O estado do Pernambuco apresentou 9 publicações sobre o tema de estudo, alavancando as publicações da região Nordeste, que ainda conteve publicações dos estados de Sergipe e Rio Grande do Norte. Todos os estados da região Sul foram representados com publicações com destaque ao estado do Paraná representado com 5 publicações, número igual do Distrito Federal, que acrescido do estado Goiás representa a região Centro-Oeste. A região Sudeste e Norte foram representadas apenas por publicações no estado de Minas Gerais e Tocantins, respectivamente. Os estados de São Paulo e Rio de Janeiro se destacaram por não apresentaram estudos sobre o tema, mesmo sendo conhecidos por terem grandes centros de pesquisa em engenharia e grandes investimentos.

Segundo a ABRECON (2020) o ano de 2018 a região Nordeste apresentou o segundo maior volume de RCD do Brasil, foram 24.123 toneladas por dia, evidenciando o problema ambiental da destinação incorreta desses resíduos. Outro fator que contribui para o destaque de publicações dessa região, é a quantidade de cursos de pós graduação na área de Engenharia Civil, de acordo com a plataforma sucupira da CAPES, no Nordeste possui 16 pós-graduações e destas 4 são no estado do Pernambuco.

Figura 9: Publicações por estado



Com praticamente as mesmas quantidades de publicações, a região Sul e a região Centro-Oeste apresentam motivos distintos. A região Sul, representada por todos os seus estados em 8 publicações, de acordo com a plataforma sucupira da CAPES detém 19 cursos de pós graduação na área de Engenharia Civil, a segunda região como mais cursos de pós graduação na área do país. A região Centro-Oeste possui apenas 7 cursos de pós graduação na área de Engenharia Civil, o segundo menor do país. O Distrito Federal realizou 5 publicações acompanhada do estado de Goiás com 2 publicações, ambos motivados pela complexidade do solo de boa parte dessa região, que apresentam características problemáticas. Cardoso (2002) expõe que o comportamento do solo do Distrito Federal e do planalto central brasileiro é regido pelo processo de intemperismo e pela presença predominante dos minerais hematita, caulinita, gibbsita e illita, caracterizando-se muitas vezes como solos colapsivos e expansivos.

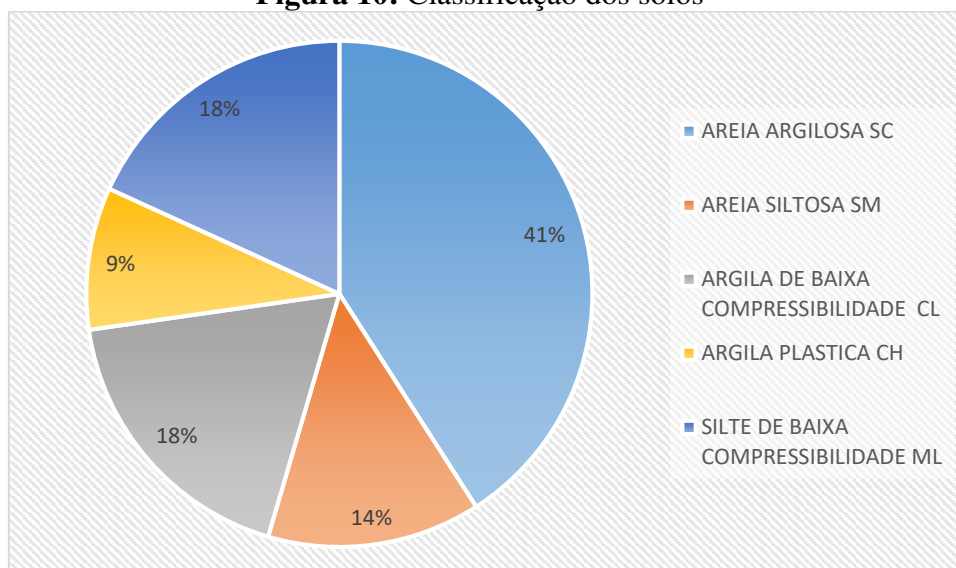
A região Sudeste representada somente com publicações apenas por Minas Gerais, apesar de historicamente ser a região do Brasil com mais investimentos e maior concentração de pessoas, justifica-se pelas políticas locais de já implantadas de gerenciamento de RCD. De acordo ABRECON (2020) só na cidade de São Paulo existem 23 usinas de reciclagem de entulho associadas ao ABRECON, 1 aterro inerte e 141 ecopontos.

5.3. Classificação do solo e aplicação da mistura Solo-RCD

A Figura 10 apresenta a distribuição dos tipos de solo dentre os trabalhos científicos selecionados. Pode-se perceber que uma grande parte dos solos não foi identificada e não apresenta os resultados dos ensaios necessários para sua classificação. A areia argilosa SC foi estudada em 9 trabalhos, representando 41% dos trabalhos científicos identificados, em seguida a argila de baixa compressibilidade CL e silte de baixa compressibilidade ML, constituíram fonte de pesquisa em 4 trabalho, areia siltosa SM em 3 trabalhos argila plástica em 2 trabalhos.

De modo geral, percebe-se que os solos identificados possuem uma faixa significativa de finos, as vezes não em sua maioria, como as areias, mas o suficiente para afirmar que o RCD é protagonista na estabilização granulométrica desses solos, pois o RCD beneficiado apresenta granulometria de areia.

Figura 10: Classificação dos solos

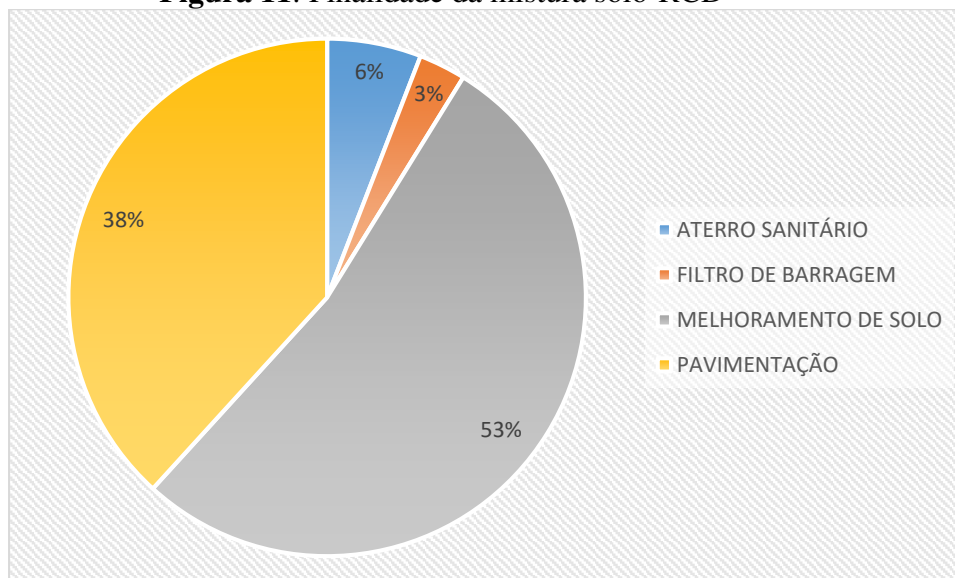


Alguns trabalhos selecionados indicavam a aplicação da mistura Solo-RCD estudada, quando não indicada, interpretou-se como melhoramento das características do solo avaliada por ensaios laboratoriais.

A Figura 11 expõe que a maior parte dos trabalhos não indicaram a aplicação da mistura, classificada assim como melhoramento de solo, 18 trabalhos científicos representando 53% da amostra. Foram totalizados 13 trabalhos científicos de misturas de Solo-RCD aplicadas na pavimentação, representando 38% da amostra e aplicações em

aterro sanitário e barragens apresentou respectivamente 2 e 1 trabalho científico, correspondendo 6% e 3%.

Figura 11: Finalidade da mistura solo-RCD



Entende-se o destaque da aplicação das misturas Solo-RCD na pavimentação, deve-se ao uso de solos para diferentes camadas de sua composição. Segundo Sartori (2015) para melhor aproveitamento econômico e de desenvolvimento da obra, o ideal, seria utilizar o solo já existente no local, por isso surge a necessidade de criar métodos para tornar o solo mais adequado para sua aplicação, ou seja, a estabilização deste material, dar-lhe condições de resistir as deformações e ruptura durante todo o período em que sua função exija atender a tais características. Segundo a Confederação Nacional de transporte CNT (2018) o modal rodoviário tem uma participação predominante na matriz de transporte de cargas e passageiros no Brasil, onde 61% das cargas e 95% dos passageiros são transportadas por rodovias mesmo possuindo grande parte de sua malha constituída por rodovias não pavimentadas.

Avaliando a Tabela 3 pode-se observar que há uma relação entre a escolha de solo e a aplicação em filtro de barragem e aterro sanitário, pois naturalmente esses solos já apresentam características interessantes para estes usos, a adição de RCD somente potencializa uma característica necessária ao tipo de uso. Temos como exemplo a aplicação em aterro sanitário, o solo silte ML, naturalmente possui um coeficiente de permeabilidade vertical baixo necessário para uso em aterro sanitário, acrescida do RCD, essa mistura apresentará maior capacidade de suporte, ideal para utilização na camada de

cobertura do aterro. A dispersão de tipo de solo e a finalidade de uso, reafirma que a escolha do tipo de solo ficou a critério do pesquisador, dos desafios e disponibilidades locais.

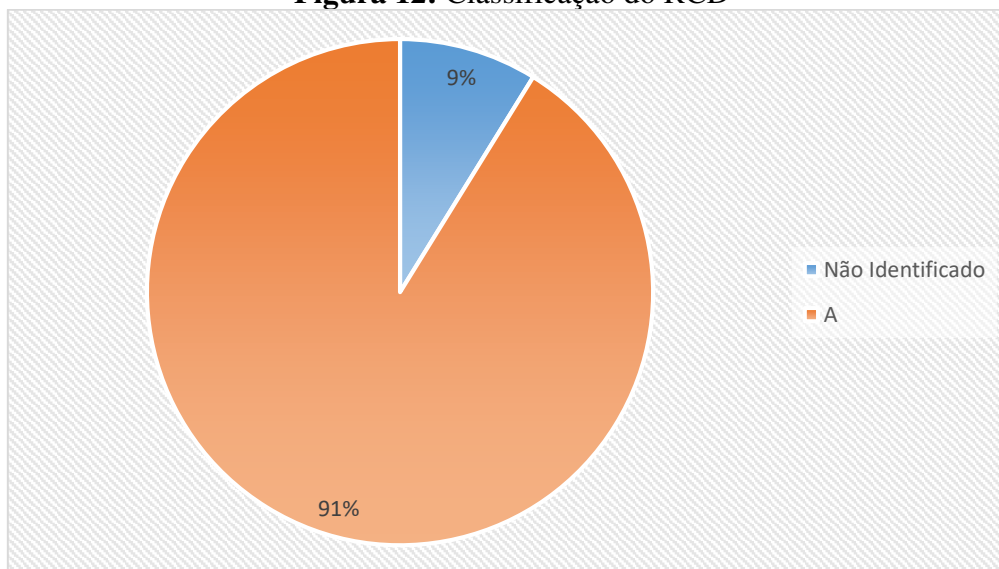
Tabela 3: Finalidade da mistura por classificação do solo

TIPO DE SOLO	ATERRO SANITÁRIO	FILTRO DE BARRAGEM	MELHORAMENTO DE SOLO	PAVIMENTAÇÃO
AREIA ARGILOSA SC			5	4
AREIA SILTOSA SM		1	2	
ARGILA CL			3	1
ARGILA PLASTICA CH			2	
SILTE ML	1		1	2

5.4. Classificação, beneficiamento e predominância do RCD

A Figura 12 exibe que 91% dos trabalhos científicos identificaram a classe do resíduo e entre os que identificaram, foi unânime a escolha da classe A do resíduo da construção civil. Os que se apresentam como não identificados é devido a falta de informação do autor, sem que haja a possibilidade de realizar a classificação por imagens.

Figura 12: Classificação do RCD



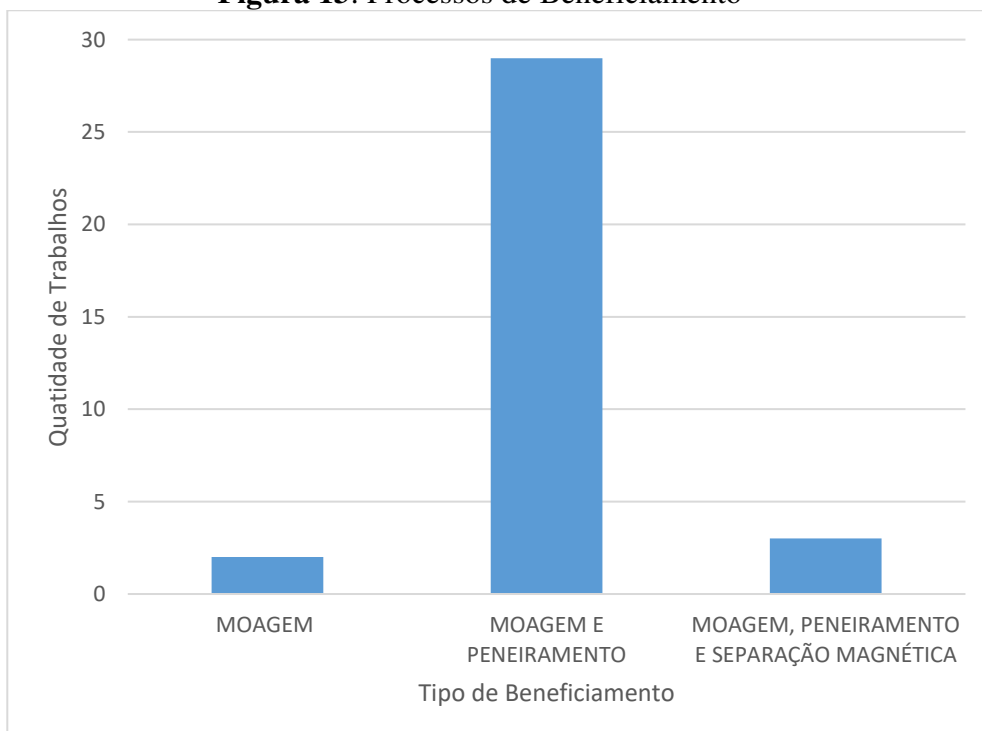
Os RCD são divididos em 4 classes de acordo com os critérios definidos pelo CONAMA 469/15, a classe A compreende a resíduo reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: solos provenientes de terraplanagem, argamassa, componentes cerâmicos e concreto. A escolha unânime da classe pelos os autores, tem como principais

motivos, a possibilidade desses materiais em passar por processos de beneficiamento e adquirir característica para incorporação em solos, além de serem resíduos inertes, não perigosos e abundante.

Os processos de beneficiamento do resíduo consistem em britagem, peneiramento e separação magnética. A britagem que tem como objetivo partir o material natural até se obter um material adequado à alimentação da moagem, que consiste em uma fragmentação fina obtendo-se a um produto adequado à incorporação no solo. O peneiramento visa a separação do um material da moagem em frações com partículas de tamanhos distintos. Por fim a separação magnética, o processo de beneficiamento consiste na remoção dos minerais de ferro, considerados contaminantes, com o uso de um ímã.

Todos os trabalhos científicos apresentaram processo de beneficiamento do RCD. Entre os trabalhos 2 realizaram apenas a moagem, 29 trabalhos realizaram moagem e peneiramento e 3 estudos acadêmicos realizaram os três processos de beneficiamento (Figura13). O processo de beneficiamento do RCD é uma operação também realizada em agregados naturais, fato que justifica sua abundância.

Figura 13: Processos de Beneficiamento

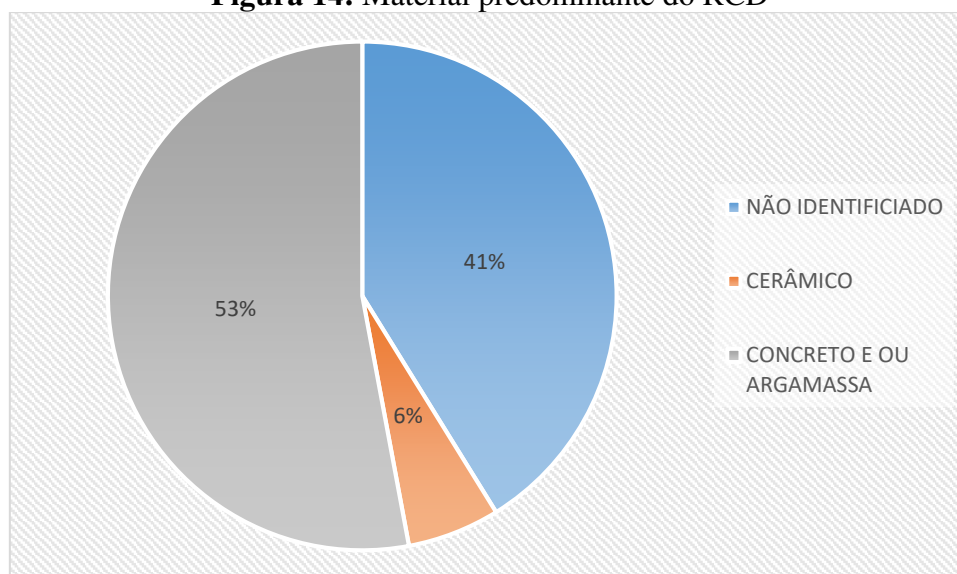


Cruzando as informações do beneficiamento com a aplicação da mistura solo-RCD, percebeu-se que as aplicações de aterro sanitário e filtro de barragem foi requerido os três processos de beneficiamento do RCD. Com base nos dados apresentados,

aplicações mais comuns, como pavimentação, os dois processos de beneficiamento de moagem e peneiramento se mostram suficiente.

Segundo o CONAMA 469/15, a classe A do resíduo da construção civil e demolição compreende: concreto, materiais cerâmicos e argamassa, cujo a grande característica é a possibilidade de serem triturados. Na prática não há como diferenciar o material de concreto e argamassa após o processo de moagem, dessa forma a grande parte das produções científicas agrupam a argamassa e o concreto, classificando-os com resíduo cinza. A Figura 14 apresenta o material predominante nos materiais estudados, percebe-se que o resíduo cinza foi material predominante do RCD em 53% dos trabalhos científicos e o resíduo cerâmico foi considerado material predominante em apenas 6% dos estudo. É importante destacar que 41% não apresentaram esta caracterização.

Figura 14: Material predominante do RCD

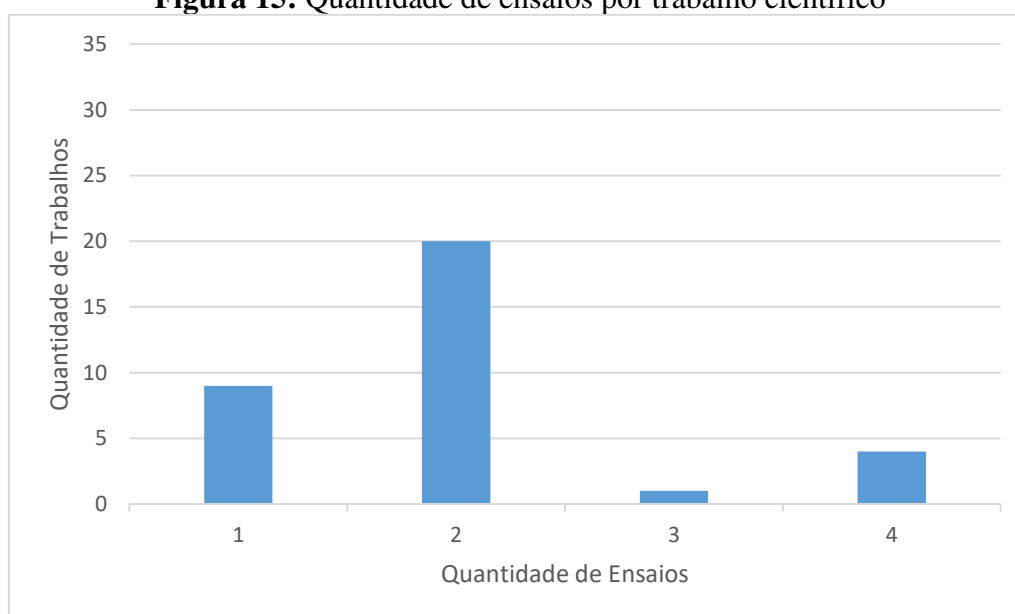


Entende-se que o resíduo cinza (concreto e argamassa) representa a predominância da amostra do RCD na maioria dos trabalhos científicos por estar contido em todo intervalo de tempo da obra, da fundação ao acabamento, diferente do material cerâmico que compreende às vedações de alvenaria e cobertura com telhas cerâmicas. A leitura da Figura 14, provoca uma preocupação quanto a não identificação da predominância do RCD. Apesar do RCD classe A, de acordo com CONAMA 469/15, apresentar em sua maioria predominância de 2 tipos de materiais: resíduo cinza e restos de materiais cerâmicos, esses materiais apresentam características bastante distintas, como absorção de água, resistência mecânica e deformação. A predominância de determinado material do RCD pode inviabilizar a aplicação da mistura solo-RCD para determinados fins.

5.5. Ensaio realizados e resultado global

Os trabalhos científicos avaliaram as propriedades da mistura solo-RCD com certa quantidade de ensaios variando de 1 a 4, com representado na Figura 15. Percebe-se que há uma variação relevante dos trabalhos que realizaram até 2 ensaios e os que realizaram mais de 2 ensaios, dessa forma entende-se que com até 2 ensaios pode-se interpretar de forma satisfatória o comportamento da mistura Solo-RCD, conciliado também que grande parte dos trabalhos estão interessado em avaliar o comportamento da mistura aliada a um só critério, que pode ser resistência, deformação, permeabilidade.

Figura 15: Quantidade de ensaios por trabalho científico



O uso do RCD em misturas com solo apresentou grande diversidade de ensaios, com 19 tipos de ensaios diferentes, evidenciando uma grande faixa de aplicabilidade dessa mistura. A Tabela 4 apresenta os ensaios realizados pelos os trabalhos científicos.

Verifica-se que entre os experimentos realizados há ensaios em laboratório e em campo. Os ensaios de campo utilizados foram ensaio de SPT e prova de carga sob placa, ambos realizados por um único trabalho cujo objetivo era avaliar a resistência do solo estabilizado através de uma malha de estacas de RCD. Entre os ensaios de laboratório os ensaios que apresentam como resultado principal a resistência do solo obtiveram posição de destaque, dos 7 ensaios mais realizados, 5 são para avaliar a resistência da mistura: CBR, compressão simples, cisalhamento direto, módulo resiliente e compressão triaxial.

Ocorrendo em 16 trabalhos distintos, o ensaio de CBR foi o mais utilizado nos trabalhos científicos. Esse ensaio tem maior destaque nos trabalhos em que a finalidade é pavimentação, sendo apresentado em 12 dos 13 trabalhos com esta destinação, devido a obrigatoriedade do ensaio CBR ser utilizado para dimensionamento das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte DNIT (2006).

Tabela 4: Ensaio realizados nos trabalhos científicos

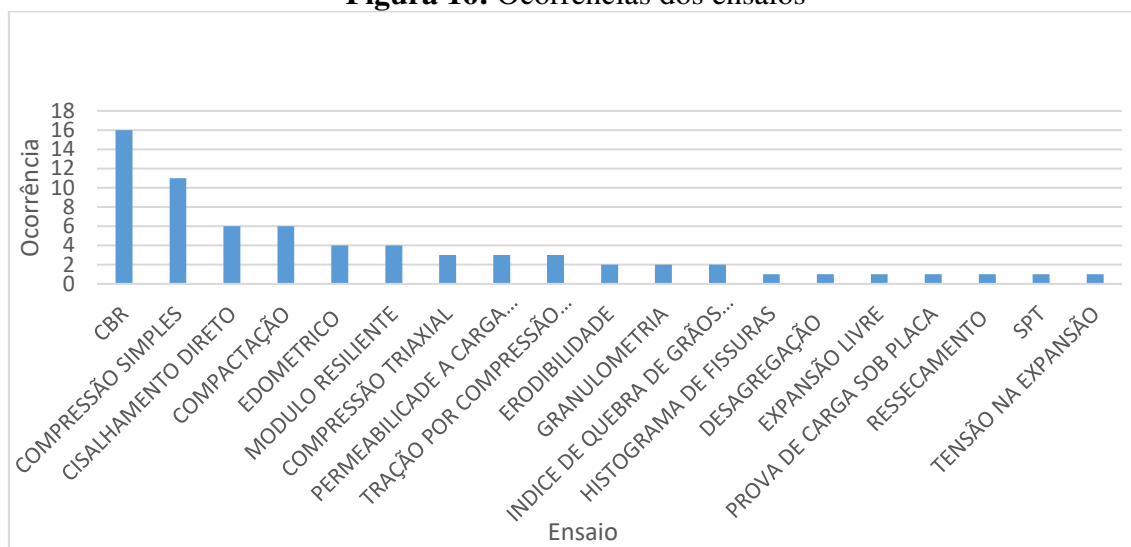
Ensaio realizado
CBR
Cisalhamento direto
Compactação
Compressão simples
Compressão triaxial
Desagregação
Edométrico
Erodibilidade
Expansão livre
Granulometria
Histograma de fissuras
Índice de quebra de grãos IDP
Modulo resiliente
Permeabilidade a carga variável
Prova de carga sob placa
Ressecamento
SPT
Tensão na expansão
Tração por compressão diametral

Os ensaios que foram bastante replicados nos trabalhos científicos como, compressão simples, cisalhamento direto, edométrico, compactação e granulometria representam experimentos largamente difundidos na engenharia geotécnica que podem ser

reproduzidos na maioria dos laboratórios do país, além de apresentarem resultados satisfatórios para avaliar o comportamento da mistura solo-RCD.

Os trabalhos científicos com finalidades particulares como o uso da mistura para filtro de barragem e aterro sanitário apresentaram ensaios de ressecamento, desagregação, histogramas de fissuras e erodibilidade, ensaios esses fortemente ligados a circunstância reais de aplicação em campo, que não foram replicados em outros trabalhos.

Figura 16: Ocorrências dos ensaios



Os ensaios de tensão na expansão e expansão livre, apresentadas no mesmo trabalho científico do estado do Pernambuco foram necessários pois o solo estudado, uma argila plástica CH apresentava expansão. Segundo Ferreira et al (2017) Pernambuco possui várias áreas dotadas de solos expansivos e estes podem causar danos econômicos as obras de engenharia devido sua variação volumétrica frente a alteração da umidade.

Os ensaios de compressão triaxial e módulo resiliente, necessitam de ferramentas específicas de alto valor agregado, mão de obra treinada e um intervalo de tempo considerável para a realização da pesquisa, logo foram realizados predominantemente em trabalhos de pós graduação em grandes centros universitário consolidados na área da geotecnia como no Paraná, Distrito Federal, Sergipe e Rio Grande do Sul.

A Tabela 5 apresenta a quantidade de trabalhos que realizaram até 1, 2, 3 ou 4 ensaios por regiões do Brasil. A região Centro-Oeste foi a que mais apresentou estudos com 4 ensaios, a possível explicação para esse fato encontra-se no comportamento complexo dos solos do centro-Oeste, já discutido no item 5.3. As regiões Norte e Sudeste apresentaram trabalho com menos ensaios, provavelmente pois todos se tratavam de

artigo dos anais COBRANSEG, logo com maior limitação de espaço para apresentação de resultados.

Já nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e Sul apresentam trabalhos científicos de pós graduação, estes em geral avaliaram a mistura de maneira mais completa fazendo uso de mais de 3 ensaios.

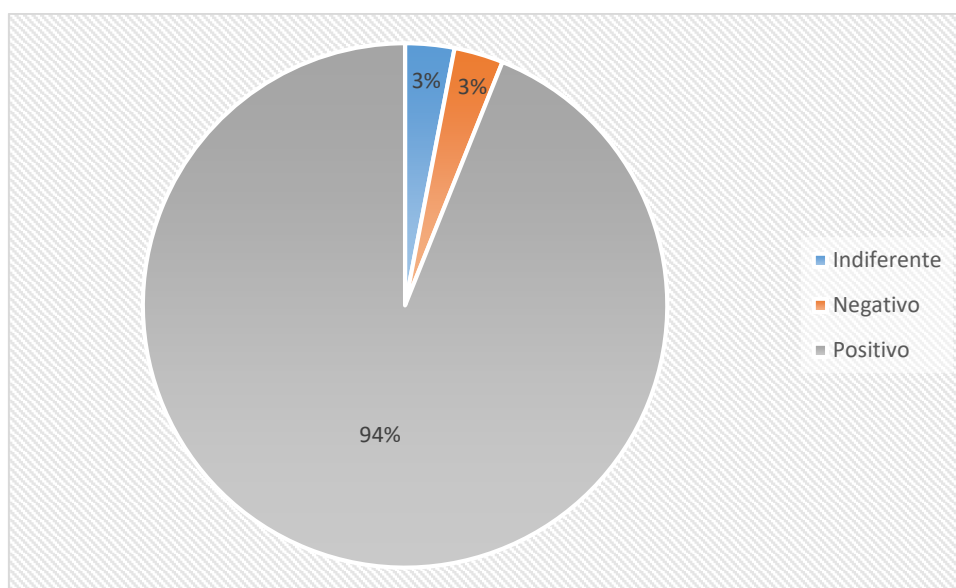
Tabela 5: Ocorrência de ensaios por região.

REGIÃO	Até 1 ensaio	Até 2 ensaios	Até 3 ensaios	Até 4 ensaios
CENTRO-OESTE	7	6	3	3
NORDESTE	14	10	2	
NORTE	1	1		
SUDESTE	4	3		
SUL	8	5	1	1

5.6. Desempenho da Adição de RCD ao Solo

A Figura 17 expõe o desempenho da adição de RCD ao solo. Os resultados foram classificados como: positivo, negativo ou indiferente mediante aos ensaios realizados por cada produção científica. Os resultados globais mostraram-se predominantemente positivo ao uso do RCD em mistura com solo para todas as aplicações da mistura, representando 94% dos trabalhos científicos, totalizando 32 produções. Um trabalho mostrou resultado negativo e um apresentou resultado indiferente.

Figura 17: Resultado global de desempenho dos trabalhos científicos



A produção científica que apresentou resultado global negativo refere-se a um estudo realizado no estado do Sergipe, que consiste na adição de RCD para estabilização granulométrica de um solo expansivo não classificado, com aplicação na pavimentação, investigado quanto à compressão simples e CBR. Benhardt (2018) afirma que do ponto de vista da resistência, o CBR praticamente não se altera com a adição do RCD, enquanto que a resistência à compressão simples diminui significativamente, em comparação à obtida para o solo puro. Acredita-se que esse fenômeno acontece, pois a adição do RCD em massa foi insuficiente para potencializar a resistência por atrito dos grãos e compensar as perdas das forças coesiva do solo fino.

Do mesmo modo, o trabalho científico que apresentou como resultado global indiferente para a mistura foi executado em Santa Catarina e avaliou a permeabilidade com carga variável e CBR para um silte inorgânico ML. Menezes, Cavalcante e Almeida (2018) explica que o incremento da permeabilidade e no CBR são muito pequenos, aferindo-se como resultado global indiferente. Uma explicação para esse fenômeno é a semelhança do tamanho dos grãos do RCD e do solo, pois após o processo beneficiamento do RCD as frações predominantes são de areia e silte, sendo este último estudado nessa produção científica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como conclusões gerais os estudos realizados com resíduos de construção e demolição (RCD) apontam para a viabilidade do reuso, visando substituir recursos naturais que estão ficando cada vez mais escassos, diminuir a deposição ilegal de resíduos sólidos, e até mesmo melhorar propriedades geotécnicas dos materiais usados nas obras. Então diante ao que foi exposto é possível destacar os seguintes pontos:

- Foram selecionados 34 trabalhos ligados ao tema proposto, no intervalo de 10 anos, publicados no COMBRASEG e CAPES.
- A presente revisão sistemática permitiu concluir, que nos bancos de dados estudados, as três aplicações para as misturas solo-RCD mais comuns são: aterro sanitário, filtro de barragem e pavimentação, com grande destaque para última. As misturas de solo-RCD foram avaliadas por 19 ensaios distintos, com objetivos de avaliar resistência mecânica, permeabilidade, deformação e formação de fissuras. Os resultados foram em amplamente positivos.
- A região Nordeste apresentou mais publicações sobre o uso do RCD para o melhoramento do solo, devido ao volume gerado e a problemática da destinação incorreta deste resíduo que causa impactos ambientais negativos, dessa forma sendo representada em 14 publicações dos 34 trabalhos científicos,
- Nos últimos anos houve um aumento considerável das produções científicas envolvendo o uso do RCD para estabilização de solos, devido ao crescimento da urbanização, maior preocupação ambiental e maiores investimentos na pós graduação, com o destaque para o ano de 2018, totalizando 14 publicações.

Devido suas características técnicas e logística, o uso do RCD em melhoramento de solo vem aumentando, representando uma alternativa na busca de construções mais sustentáveis, evidenciando o grande potencial da reciclagem do RCD.

6.1.Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar revisão sistemática em plataformas internacionais, *science direct*.
- Realizar revisão sistemática da reutilização do RCD no ciclo da construção civil.
- Aumentar intervalo de estudo.
- Iniciar pesquisas com melhoramento de solo com RCD na Paraíba.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.B.O. Incorporação de Escória de Cobre Pós-Jateada a um Solo Arenoso Argiloso de Sergipe para Aplicação em Base de Pavimentos. 2016. 193f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) –Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: PUC-Rio. Rio de Janeiro- RJ, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). Mapa. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://abrecon.org.br/mapa/>. Acesso em: 18 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos: NBR 15116. Rio de Janeiro: ABNT, 12 p. 2004..

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6459:Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR6502:Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7180:Solo — Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7181:Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2017. 12p.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUANDO (ANPG). Publicações. Como está nossa educação? Panorama dos últimos 20 anos mostra potencial crescimento. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://www.anpg.org.br/13/11/2018/como-esta-nossa-educacao-panorama-dos-ultimos-20-anos-mostra-potencial-crescimento-mas/>. Acesso em: 18 nov. 2020.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. Cerâmica 61 178-18. 2015.

BERNHARDT, L.S. Análise da Variabilidade do Comportamento Geotécnico de Mistura de Solo Residual Silto Argiloso e Resíduo da Construção Civil Frente ao Solo Residual Silto Argiloso In Natura. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, [s. l.], 2018.

BULIGON, L.B. Estudo de misturas de solo argilosos e resíduos de construção civil para uso em pavimentos econômicos. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2015.

CAPUTO, Homero pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1988.

CARDOSO, A.C.F. ; GALATTO,S.L.; GUADAGNIN, M. R. Estimativa de Geração de Resíduos da Construção Civil e Estudo de Viabilidade de Usina de Triagem e Reciclagem. 2014

CARDOSO, F.B.F. Propriedades e comportamento mecânico de solos do planalto central brasileiro. 2002. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2002.

CONFORTO, E.C; AMARAL, D.C; SILVA, S.L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 8º Congresso brasileiro de gestão e desenvolvimento de produto, [s. l.], 13 set. 2011.

CIRANI, C.B.S; CAMPANARIO, M.A; SILVA, H.H.M. A evolução do ensino da pós-graduação senso estrito no Brasil: análise exploratória e proposições para pesquisa. Avaliação, Campinas., Sorocaba, ano 2015, 2015

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. Boletim estatístico de Agosto 2018. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/Rodoviario/1-3-1-1-1-/Malha-rodovi%C3%A1ria-total>
Acesso em: 27/11/2020.

COSTA , M. LUNA, P. SELIG, J. ROCHA. Reciclagem de resíduos de construção e demolição: uma análise multivariada. Eng. Sanit. Ambiental 12, 4. 2007.

CRUZ, M.L.S. Novas tecnologias da aplicação de solo-cimento. 2004. 2012f. Dissertação Mestrado em Engenharia Civil) -Universidade do Minho. Guimarães, 2004.

DALLA ROSA, A. Estudo dos parâmetros-chave no controle de resistência de misturas solo-cinza-cal. 2009. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2009.

DIAS, M. C. C., Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistemas de cobertura de aterro sanitário, Dissertação de M. Sc., EEC/UFG, Goiânia, GO, Brasil, 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE, DNIT. Manual de pavimentação. Publicação IPR – 179. Ministério dos transportes. Instituto de pesquisas rodoviárias. 2006.

FARENHOF, H.A; FERNANDES, R.F. Desmistificando a revisão de literatura como base para redação científica: método ssf. Revista ACB: Biblioteconomia em Santa Catarina, [s. l.], ano 2016, 2016.

FERREIRA; M.C. THOME; A. Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais. Passo Fundo, 2011.

FERREIRA, S. R. M.; PAIVA, S. C.; MORAIS, J. J. O.; VIANA, R. B.; Avaliação da expansão de um solo do município de Paulista-PE melhorado com cal. Revista Matéria, Suplemento, Rio de Janeiro, v. 22, 2017.

FIORI, Alberto Pio. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

FOPPA, D. Análise de variáveis chave no controle da resistência mecânica de solos artificialmente cimentados. 2005. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre -RS, 2005.

FIRJAN. Construção Civil: Desafios de 2020. 1. ed. Rio de Janeiro: Firjan, 2020. 75 p.,

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

KARPINSKI, L. A. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

KURESKI, R.; RODRIGUES, R.L; MORETTO, A.C; SESSO FILHO, U.A; HARDT, L.P.A. O macrossetor da construção civil na economia brasileira. Ambiente construído, Porta Alegre, ano 2018, 2018.

LEITE, S.R.P. Estudo das práticas de gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil do Rio de Janeiro. Projeto de graduação apresentado ao curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LEITE, C.; NETO, T.; AGUIAR, M.; OLIVEIRA, F.H. Análise de melhoramento de solo com brita e resíduos de construção e demolição para camadas de pavimentos no estado do ceará. Conexões - Ciência e Tecnologia. 2016.

LEPSH, I.G.O;. Formação e conservação dos solos.2.ed. São Paulo: Oficina de textos.2016

LIMA, V.C; LIMA; M.R.D. O solo do meio ambiente. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.2007.

LIXO municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo (SP): CEMPRE, 2018.

LLATAS, C. A. A model For Quantifying Construction Waste in Projects According to the European Waste List. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1261-1276, 2011.

LUZ, M. P. Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos: avaliação técnica e sócioambiental. 2008. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

MARQUES. G.L.D.O; Elementos sobre o solos. Juiz de fora: Universidade Federal de Juiz de Fora; re.2009

MESQUITA, A. S. G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em teresina, piauí. Holos, vol. 2, pp. 58-65 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil. 2012.

MENEZES, J.H.F; CAVACALTE, E.H; ALMEIDA, G.B.O. Estudos com Resíduos de Construção e Demolição para a Aplicação em Obras de Infraestrutura de Pavimentos. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, [s. l.], 2018. CRISTELO, N. Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal. 2001. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade do Minho, [S. l.], 2001.

NIEHEUS, A.P.G; STEINER, L.R. Estabilização granulométrica de solo argiloso com agregado de resíduo de concreto da construção civil para utilização em pavimentação. Revista Técnico-científica de Engenharia Civil - UNESC, [s. l.], 2018.

OLIVEIRA, Edieliton Gonzaga, Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição: Estudo de Caso da RESOLUÇÃO 307 DO CONAMA. 2008. 114 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) UFG – GOIÁS.

OLIVEIRA, E. Emprego da cal na estabilização de solos finos de baixa resistência e alta expansão: estudo de caso no município de Ribeirão das Neves/MG. 2010. 162f.

OLIVEIRA, M. M. *et al.* Determinação da Taxa de Geração de RCC: estudo de caso das obras do campus I da UFPB. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 26., Porto Alegre, 2011. **Anais**. Porto Alegre, 2011.

ORTIGÃO, J.A.R. Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. 2.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1995. 378p.

PIOVEZAN. G.T.J. Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. 2007.

PINTO, C.S. Curso Básico de Mecânica dos Solos – Oficina de Textos, São Paulo, 2001.

PIVETTA; C.P; VENDRUSCOLO, M.A. Análise de solo compactado com resíduo de construção e demolição. XXV Seminário de Iniciação Científica. Cerro Largo, 2017.

RODRIGUES, K.H.P. Estudo de estabilização granulométrica de solos utilizando rejeito de mineração. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2018.

SANDRONI, S., CONSOLI, N. C. Sobre a Prática da Engenharia Geotécnica com Dois Solos Difíceis: Os Extremamente Moles e os Expansivos. COBRAMSEG 2010. Anais. PP. 97– 186. 2010.

SANTOS, E. C. G., Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado, Dissertação de M.Sc., EESC/USP, São Carlos, SP, Brasil, 2007.

SARTORI, G. ESTUDO DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA FINS DE PAVIMENTAÇÃO NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 2015.

SENÇO, Wlastermiler de. Manual de Técnicas de Pavimentação. vol. 2. 2. ed. São Paulo: Pini, 2001

SILVA, A.C.; FUCALE, S.; FERREIRA, S.R.M. Efeito da adição de resíduos da construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo areno-argiloso. revista : Matéria, v.24, n.2, 2019.

SILVA, A.J.N.; CARVALHO, F.G. Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro. R. Bras. Ci. Solo, 31:853-862, 2007.

SILVA, D.A.; MARTINS, C.P.; OLIVEIRA, C.A.S. Análise do Comportamento de Solos com o Reaproveitamento de RCC. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Minas gerais, 2016.

SILVA, L.S.A. Lean Construction: uma busca sistemática da literatura. Orientador: Prof. Cristine do Nascimento Mutti. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, [S. l.], 2019.

SILVA, A.C.; FUCALE, S.; FERREIRA, S.R.M. Efeito da adição de resíduos da construção e demolição (RCD) nas propriedades hidromecânicas de um solo areno-argiloso. Matéria (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, e12355, 2019.

SILVEIRA, L. R.; BORGES, R. A. Uso de Materiais Alternativos para Melhoria de Solo na Pavimentação de Vias. E&S - Engineering and Science, (2016).

SOARES, P. B.; CARNEIRO, T. C. J.; CALMON, J. L.; CASTRO, L. O. da C. de O. Análise bibliométrica da produção científica brasileira sobre Tecnologia de Construção e Edificações na base de dados Web of Science. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 175-185, jan./mar. 2016.

SOUZA; J.S.D.; BASTOS, C.WM. Mecânica dos solos. Brasília: NT editora; 2015.

SUCUPIRA, Plataforma: Dados Cadastrais do Programa. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/programa/listaPrograma.jsf>. Acesso em: 18 nov. 2020.

TESSARI, C.L.; COBE, R.P.; PIRES, P.J.M. Melhoria de Solo com Incorporação de Resíduos de Siderurgia. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, 2016.

VARGAS, M. Introdução à Mecânica dos Solos. 1ª edição, São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977.

VILLIBOR, Douglas Fadul. Estabilização Granulométrica ou Mecânica. São Carlos, 1982.

WALLAU, J.R. Avaliação da técnica de estabilização granulométrica como revestimento primário de rodovias não-pavimentadas. Orientador: Luciano Pivoto Specht. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2004.

WHO. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly. 2015b. Disponível em: .Acesso em: 7 nov. 2015

ANEXO

Quadro 8: Títulos dos artigos do COBRAMSEG

Título do trabalho	Qualificado	Plataforma
Uso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Estacas de Compactação para Melhoria de Solos	Sim	COBRAMSEG
Influências das fibras de polipropileno no comportamento mecânico de amostras de resíduos da construção civil	Não	COBRAMSEG
Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) com e sem Reforço Geossintético em Estradas Não Pavimentadas	Não	COBRAMSEG
Estudo Numérico de Estrutura de Contenção Reforçada com Geossintético Construída com Resíduo de Construção e Demolição	Não	COBRAMSEG
Comportamento Mecânico de um Solo Reforçado com Agregado Reciclado da Construção Civil e Fibras de Polipropileno	Sim	COBRAMSEG
Avaliação e comparação dos compósitos solo-agregado reciclado e solo-agregado reciclado-fibra para aplicações em pavimentação	Sim	COBRAMSEG
Estudo do Comportamento de Misturas de Solo e Agregado de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Sergipe	Sim	COBRAMSEG
Influência do Grau de Compactação na Permeabilidade de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R) Produzidos em Paudalho-PE	Não	COBRAMSEG
Estabilização do Solo para Base de Pavimentos Utilizando Mistura de Solo, Aditivo Químico e Resíduo da Construção e Demolição (RCD)	Sim	COBRAMSEG
Melhoria de Solo Laterítico de Brasília Com Adição da Fração Fina de Resíduo de Construção e Demolição Reciclado	Sim	COBRAMSEG
Análise da Viabilidade do Aproveitamento de RCC para Aplicação como Filtro em Barragem de Terra	Sim	COBRAMSEG
Avaliação da resistência à compressão simples e da resistência à tração de misturas de solo e resíduos de construção e demolição (RCD) reforçadas com fibras de polipropileno e cimento portland.	Sim	COBRAMSEG
Análise do Comportamento de Solos com o Reaproveitamento de RCC	Sim	COBRAMSEG
Solo estabilizado com resíduo de construção e demolição reciclado para fins de pavimentação.	Sim	COBRAMSEG
Análise do Uso de Resíduos de Construção Associados a um Solo do Estado do Rio Grande do Norte para Aplicação em Obras Viárias	Sim	COBRAMSEG
Avaliação da Formação de Fissuras por Ressecamento em Camadas Impermeabilizantes Executadas com Misturas Solo-RCC por Meio de Imagens.	Sim	COBRAMSEG
Ensaio Triaxiais Dinâmicos em Misturas de Solo e RCD	Sim	COBRAMSEG
Monitoramento de Camadas Estruturais de Trecho Experimental Solo-RCD Utilizando Penetrômetro PANDA	Não	COBRAMSEG
Avaliação da Adição de Resíduos de Construção Civil (RCC) para Estabilização de Solos Colapsíveis.	Sim	COBRAMSEG
ESTUDO DO SOLO-CIMENTO COM INCORPORAÇÃO DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO RCD	Sim	COBRAMSEG
Melhoramento de um solo de Santa Maria da Boa Vista - PE misturado com Resíduo de Construção e Demolição	Sim	COBRAMSEG
Avaliação do uso do RCD produzido em Aparecida de Goiânia em estruturas de solo reforçado com geossintéticos e em pavimentação.	Sim	COBRAMSEG
Análise Geotécnica comparativa da aplicação de mistura de SOLO-RCD dos estados do Rio Grande do Norte e Mato Grosso em camadas de pavimento urbanos	Sim	COBRAMSEG
Análise da quebra de grãos de misturas de resíduos de construção e demolição com solo da Formação Geológica de Guabirota durante a compactação.	Sim	COBRAMSEG
Análise da Variabilidade do Comportamento Geotécnico de Mistura de Solo Residual Silto Argiloso e Resíduo da Construção Civil Frente ao Solo Residual Silto Argiloso In Natura	Sim	COBRAMSEG
INFLUÊNCIA DO RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO NO GANHO DE RESISTÊNCIA AERODIBILIDADE DOS SOLOS TROPICAIS NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA-TO.	Sim	COBRAMSEG
Análise da Resistência ao Cisalhamento e Capacidade de Suporte de Solos da Formação Guabirota com Adição de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados (RCD-R)	Sim	COBRAMSEG
Influência da Adição de Resíduos de Construção Civil no Módulo Resiliente em Solo Argiloso da Formação Geológica Guabirota	Sim	COBRAMSEG
Análise do Melhoramento do Solo com Adição de Resíduo de Blocos de Concreto aplicado à Pavimentação	Sim	COBRAMSEG
Adição de Resíduos de Construção e Demolição na Resistência ao Cisalhamento de um Solo Argiloso da Formação Geológica Guabirota	Sim	COBRAMSEG
Estudos com Resíduos de Construção e Demolição para a Aplicação em Obras de Infraestrutura de Pavimentos	Sim	COBRAMSEG
Estudo de propriedades geotécnicas de Areia RCD-Bentonita como material alternativo para camada de cobertura de aterros sanitários	Não	COBRAMSEG

Quadro 9: Títulos das teses e dissertações CAPES

Título do trabalho	Qualificado	Plataforma
VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA DE MISTURAS DE SOLO-RCD EM CAMADAS DE BASE DE PAVIMENTOS URBANOS. ESTUDO DE CASO: MUNICÍPIO DE CAMPO VERDE - MT	Sim	CAPES
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UM AGREGADO RECICLADO A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO SUBMETIDO A CARREGAMENTOS CÍCLICOS'	Não	CAPES
EFEITOS DA COMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM SEU COMPORTAMENTO MECÂNICO PARA UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO'	Não	CAPES
ANÁLISE DO PROCESSO DE RESSECAMENTO EM MISTURAS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC) E BENTONITA PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE COBERTURAS DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS	Não	CAPES
Viabilidade do uso de solo tropical e resíduo de construção civil em sistema de cobertura de aterro sanitário	Sim	CAPES
USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA MELHORAMENTO DE SOLOS COLAPSÍVEIS'	Sim	CAPES
Comportamento mecânico de um solo argiloso misturado com resíduos de construção e demolição para utilização em pavimentação	Sim	CAPES
Estudo de Misturas de Solo, RCD e Cal Virgem e Hidratada para Uso em Obras Rodoviárias	Sim	CAPES
Estudos sobre misturas de agregados reciclados de resíduos da construção civil com solos para utilização em pavimentos	Sim	CAPES
Comportamento mecânico de resíduos beneficiados da construção e demolição utilizados na fabricação de concreto e estabilização de solos'	Sim	CAPES
COMPORTAMENTO HIDROMECÂNICO DE UM SOLO ARENO-ARGILOSO ADICIONADO COM RESÍDUOS DE PNEUS E RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	Sim	CAPES
Caracterização Físico-Mecânica de Misturas de Solo-Cimento Autoadensável com Incorporação de Areia de Resíduos de Construção Civil'	Não	CAPES
Crescimento Vegetativo de <i>Crotalaria juncea</i> em misturas solo/agregado reciclável visando recuperação de áreas degradadas'	Não	CAPES
APLICAÇÃO DE DOIS MODELOS DE BALANÇO HÍDRICO PARA ESTUDO DE CAMADA DE COBERTURA DE ATERRO SANITÁRIO UTILIZANDO SOLO E RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO	Não	CAPES
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO RECICLADOS NA SORÇÃO DE Pb ²⁺ , Cd ²⁺ , Cr ³⁺ E As ⁵⁺ '	Não	CAPES
Uma Proposta Para Logística de Reciclagem dos Resíduos de Construção Civil da Cidade do Rio de Janeiro	Não	CAPES