

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RICARDO SAMPAIO SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA EM MISTURAS SOLO-
AGREGADO RECICLADO**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

RICARDO SAMPAIO SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA EM MISTURAS SOLO-
AGREGADO RECICLADO**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientadora: Profa. Ma. Emiliana de Souza
Rezende Guedes

Co-Orientadora: Profa. Ma. Andréa Santana
Teixeira Lins

ARACAJU

2017

Tecnologia	Silva, Ricardo Sampaio. S586e Estudo da influência do tempo de cura em misturas solo-agregado reciclado / Ricardo Sampaio Silva. – Aracaju, 2017. 82 f. Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação Ciência e de Sergipe - IFS. Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Orientadora: Prof^a. Dra. Emiliana de Souza Resende Guedes. Co-orientadora: Prof.^a Ma. Andréa Santana Teixeira Lins. 1. Melhoramento de solo 2. Agregado reciclado 3. Resíduo da construção civil 4. Compressão simples I. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS II. Guedes, Emiliana de Souza Resende. III. Lins, Andréa Santana Teixeira. IV. Título.
------------	--

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

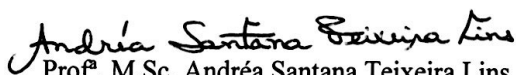
TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 067

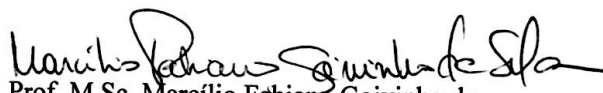
**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA EM MISTURAS SOLO-
AGREGADO RECICLADO**

RICARDO SAMPAIO SILVA

Esta monografia foi apresentada às 10 horas do dia 04 de Julho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

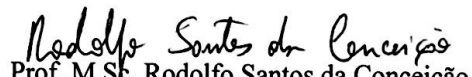

Profª. M.Sc. Andréa Santana Teixeira Lins

(Instituto Federal de Sergipe - IFS)


Prof. M.Sc. Marcílio Fabiano Goivinho da
Silva

(Instituto Federal de Sergipe - IFS)


Profª. M.Sc. Emiliana de Souza Rezende
Guedes (Instituto Federal de Sergipe - IFS)
Orientadora


Prof. M.Sc. Rodolfo Santos da Conceição
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador(a) da COEC

Dedico este trabalho aos meus pais, que veem apoiando e incentivando o meu crescimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pela força que me deu para concluir este curso de Engenharia Civil.

A minha orientadora, Profa. Ma. Emiliana Guedes. Sempre bastante solícita desde quando a procurei para ser minha orientadora neste trabalho.

A Wilson Júnior, quem propôs o tema da pesquisa e que me auxiliou para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Diógenes Silva e Sônia Silva. Eles que veem acompanhando essa trajetória desde o início, sempre apoiando de todas as formas os meus sonhos. Muito obrigado.

Aos meus irmãos, Leonardo Silva e Aline Silva, por sempre me apoiarem em todo este processo.

“O homem que mais tem vivido não é aquele que conta mais anos, mas, sim, aquele que mais tem sentido a vida.” Jean-Jacques Rousseau.

RESUMO

SILVA, RICARDO SAMPAIO. **Estudo da influência do tempo de cura em misturas solo-agregado reciclado**. 82 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

Ao passo em que a indústria da construção civil favorece o crescimento da economia de uma nação, contribui de forma decisiva para degradação ambiental no mundo, seja na intensificada geração de resíduos, ou no consumo elevado de matéria-prima. Contudo, há algum tempo, os problemas resultantes das atividades de construção civil e demolição já veem sendo motivo de preocupação em alguns países, que por falta de matéria-prima abundante em seu território, veem utilizando alternativas técnica e economicamente viáveis, que no final acabam favorecendo a redução de impactos ambientais no planeta. Entretanto, em países como o Brasil, não há muitos estudos que busquem a utilização de forma eficiente de resíduos da construção e demolição. Dessa forma, o presente trabalho buscou investigar o comportamento mecânico de misturas solo-agregado reciclado em diferentes tempos de cura. Para isto, foram preparadas misturas de solo e agregado reciclado nas concentrações de 15%, 30% e 45% de AR em relação ao peso seco do solo, sendo os corpos-de-prova de cada mistura curados nos tempos de 7, 14 e 28 dias. Para a avaliação mecânica, os CP's foram submetidos à ensaios de compressão simples, onde foi possível analisar as tensões e deformações na ruptura. Com base nos resultados, concluiu-se que o procedimento de cura favoreceu, levemente, a melhoria da resistência para as situações de menor concentração de agregado reciclado (30% e, principalmente 15%). Porém, no caso das amostras contendo 45% de agregado reciclado, o aumento do tempo de cura, acarretou em uma queda na resistência à compressão simples.

Palavras-chave: Construção Civil, agregado reciclado, melhoramento de solo, resistência, cura, compressão simples.

ABSTRACT

SILVA, RICARDO SAMPAIO. **Estudo da influência do tempo de cura em misturas solo-agregado reciclado**. 82 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

While the construction industry favors to improve nation's economy, it contributes to environmental degradation around the world, whether in the massive generation of waste or in the high consumption of raw materials. However, for a while, the issues resulting from the construction and demolition activities have been a cause for concern for some countries, which, due to a lack of abundant raw materials in their territory, have been using technically and economically alternatives, that contribute to the reduction of environmental impacts on the planet. However, in some countries such as Brazil, there is a lack of more studies that seek the efficient use of construction and demolition waste. Thus, the present work investigated the mechanical behavior of soil-recycled aggregate mixtures at different curing process times. For this, soil and recycled aggregates were mixed at concentrations of 15%, 30% and 45% of recycled aggregate related to the dry weight of the soil. The soil-recycled aggregate samples were cured at 7, 14 and 28 days. In the mechanical evaluation, the soil-recycled aggregate samples were compressed. Then it was possible to analyze the tensions and deformations at the rupture. Based on the results obtained on the tests, it was concluded that the curing process slightly improves the resistance for case of lower concentration of recycled aggregate (30% and, mainly, 15%). However, for 45% of recycled aggregate samples, while curing time increases, the resistance against axial loads decreases.

Keywords: Construction. recycled aggregate. soil improvement. resistance. curing. axial compression.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Destinação final dos RSU coletados no Brasil.	23
Imagem 2 - Destinação final de RSU (t/dia).	23
Imagem 3 - Produção Urbana de Lixo por Pessoa no Mundo.....	24
Imagem 4 - Localização Usina da Torre Empreendimentos.....	48
Imagem 5 - Etapa de triagem dos resíduos.	49
Imagem 6 - Fragmentação dos resíduos.....	49
Imagem 7 - Localização da jazida do solo.	52
Imagem 8 – Solo utilizado.	52
Imagem 9 – Visão geral do corpo de prova em processo de cura.	56
Imagem 10 - Acomodação dos corpos de prova na caixa de isopor.	56
Imagem 11 - Processo de moldagem do corpo de prova na prensa ISC.	57
Imagem 12 – Visão geral: da prensa triaxial e do ensaio em execução.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado reciclado.	50
Gráfico 2 - Curva de compactação do agregado reciclado.	51
Gráfico 3 - Curva granulométrica do solo.	53
Gráfico 4 - Curva de compactação do solo.	54
Gráfico 5 – Curva pressão x deformação no tempo de cura igual a 7 dias.	59
Gráfico 6 – Variação da resistência à compressão com a adição de agregado reciclado (cura em 7 dias).	60
Gráfico 7 - Variação da deformação na ruptura com a adição de agregado reciclado (cura em 7 dias).	60
Gráfico 8 - Curva pressão x deformação no tempo de cura igual a 14 dias.	62
Gráfico 9 - Variação da resistência à compressão com a adição de agregado reciclado (cura em 14 dias).	62
Gráfico 10 - Variação da deformação na ruptura com a adição de agregado reciclado (cura em 14 dias).	63
Gráfico 11 - Curva pressão x deformação no tempo de cura igual a 28 dias.	64
Gráfico 12 - Variação da resistência à compressão com a adição de agregado reciclado (cura em 28 dias).	65
Gráfico 13 - Variação da deformação na ruptura com a adição de agregado reciclado (cura em 28 dias).	65
Gráfico 14 – Variação da resistência com a adição de agregado reciclado aos 7, 14 e 28 dias de cura.	66
Gráfico 15 - Variação da deformação com a adição de agregado reciclado aos 7, 14 e 28 dias de cura.	67
Gráfico 16 - Curva pressão x deformação das amostras com 15% de AR.	67
Gráfico 17 - Variação da resistência à compressão com o tempo de cura para amostras com 15% de AR.	68
Gráfico 18 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para amostras com 15% de AR.	68
Gráfico 19 - Curva pressão x deformação das amostras com 30% de AR.	69
Gráfico 20 - Variação da resistência à compressão com o tempo de cura para amostras com 30% de AR.	70
Gráfico 21 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para amostras com 30% de AR.	71
Gráfico 22 - Curva pressão x deformação das amostras com 45% de AR.	72
Gráfico 23 - Variação da resistência à compressão com o tempo de cura para amostras com 45% de AR.	72

Gráfico 24 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para amostras com 45% de AR.	73
Gráfico 25 - Variação da resistência com o tempo de cura para as misturas de 15%, 30% e 45%.	74
Gráfico 26 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para as misturas de 15%, 30% e 45%.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Componentes típicos do RCD.....	27
Tabela 2 - Distribuição populacional do Brasil segundo a situação de domicílio.	28
Tabela 3 - Estimativas da geração de resíduos da construção civil em diferentes países.....	29
Tabela 4 - Quantidade de RCD gerado pelas regiões brasileiras.	31
Tabela 5 - Produtos reciclados, suas características e possíveis usos.....	36
Tabela 6 - Vantagens na utilização RCD reciclado.	38
Tabela 7 - Identificação das amostras e composição das misturas.	55
Tabela 8 - Resistência e deformação para o tempo de cura igual a 7 dias.....	61
Tabela 9 - Resistência e deformação para o tempo de cura igual a 14 dias.....	63
Tabela 10 - Resistência e deformação para o tempo de cura igual a 28 dias.....	65
Tabela 11 - Resistência e deformação para as amostras com 15% de AR.	69
Tabela 12 - Resistência e deformação para as amostras com 30% de AR.	71
Tabela 13 - Resistência e deformação para as amostras com 45% de AR.	73

LISTA DE ABREVIATURAS

AR	Agregado Reciclado
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CO ₂	Dióxido de carbono
EUA	Estados Unidos da América
ISC	Índice de Suporte Califórnia
PLS	Projeto de Lei do Senado
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e de Demolição
RSU	Resíduo Sólidos Urbanos

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e da Demolição
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EPA	Environmental Protection Agency
HRB	<i>Highway Research Board</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFS	Instituto Federal de Sergipe
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ONU	Organização das Nações Unidas
OTI	Organização Internacional do Trabalho
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solo (<i>Unified Soil Classification System</i>)
URBEM	Empresa de Reciclagem e Beneficiamento de Entulho e Materiais

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
w_{ot}	Umidade ótima
ρ_{dmax}	Peso específico aparente seco máximo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVO	19
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	21
2.2	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	25
2.3	POLÍTICAS PÚBLICAS ACERCA DO RCD NO BRASIL	31
2.4	UTILIZAÇÃO DO RCD NA CONSTRUÇÃO CIVIL	34
2.5	ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS.....	40
2.6	PROCEDIMENTO DE CURA.....	43
3	MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1	MATERIAIS.....	48
3.1.1	Agregado reciclado	48
3.1.2	Solo.....	51
3.2	MÉTODOS.....	54
3.2.1	Ensaio de Caracterização Física	55
3.2.2	Cura dos Corpos de Prova	55
3.2.3	Ensaio de Compressão Simples.....	56
4	RESULTADOS E ANÁLISES	59
4.1	INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE AGREGADO RECICLADO CURADO	59
4.1.1	Amostras com 7 dias de cura	59
4.1.2	Amostras com 14 dias de cura	61
4.1.3	Amostras com 28 dias de cura	64
4.2	INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA	67
4.2.1	Amostras contendo 15% de agregado reciclado	67
4.2.2	Amostras contendo 30% de agregado reciclado	69
4.2.3	Amostras contendo 45% de agregado reciclado	71
5	CONCLUSÕES	75
6	SUGESTÕES	77
	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais importantes em uma nação. Apesar de ser bastante antiga, sua relevância para o setor econômico de qualquer país é determinada pela capacidade de agregar um alto grau de investimentos, sejam eles oriundos do setor público, privado, ou através de parcerias público-privado. Além disso, por ser uma atividade bastante comum nas áreas urbanas, quer seja com um alto grau de complexidade, como construção de edifícios ou infraestrutura urbana; ou mais simples, como o caso de pequenas construções ou reformas; é capaz de gerar um grande número de empregos diretos e indiretos.

Entretanto, essa atividade é uma das que mais consomem matéria-prima. De acordo com Santos *et al.* (2011), a indústria da construção civil é responsável pelo consumo de 20 a 50% dos recursos naturais de todo o planeta.

Aliado a isso, a construção civil é responsável por gerar volumes gigantescos de resíduos todos os anos. Em países que possuem técnicas construtivas mais artesanais, como o caso do Brasil, a produção de resíduos se torna bem maior do que em países, geralmente, nações desenvolvidas, que adotam sistemas construtivos que tendem a tornar as construções mais “limpas”. Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) (2014) revelam que entre os anos de 2013 e 2014 houve um aumento de 4,11% na quantidade de resíduos oriundos de atividades de construção e demolição no Brasil.

Essa problemática envolvendo os resíduos da construção e da demolição (RCD) vem se tornando alvo de análises e estudos por governos e pelo setor privado que buscam medidas eficientes de utilização desses resíduos, aliando formas de conter a poluição do meio ambiente e obtenção de RCD reciclado com melhor qualidade que poderia substituir o uso de matéria-prima retirada do meio ambiente.

Segundo Wedler e Hummel (1946, *apud* Levy,1995), o uso de RCD reciclado teve maior destaque ao final da Segunda Guerra Mundial, onde os países devastados e destruídos, tiveram que adotar soluções viáveis para lidar com a grande quantidade de resíduo oriundo de edificações demolidas. No caso de Brasil, a partir da década de 1990 foi quando o RCD ganhou uma maior atenção dos setores públicos e privados ao surgirem pesquisas e estudos sobre o tema (TESSARO *et al.*,2012). Tal iniciativa,

acabou culminando em trabalhos que seriam utilizados na criação de políticas públicas adotadas no país, como o caso da Resolução nº 307 do ano de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que trata das diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil; e da Lei nº 12.305 do ano de 2010 que trata das Políticas nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Dessa forma, a utilização de RCD reciclado vem ganhando maior destaque e isso acaba determinando que novas pesquisas sobre como aumentar a eficiência dos materiais oriundos do processo de reciclagem venham surgindo.

No âmbito da mecânica dos solos, a utilização de RCD para o melhoramento de solos é uma prática que vem sendo utilizada em algumas situações, entretanto, existem poucos trabalhos que testemunhem acerca da real eficiência do uso de RCD para a estabilização dos solos. Dentre estes poucos trabalhos, pode-se citar o de Aragão Junior e Guedes (2016), onde buscou-se analisar o comportamento mecânico de misturas de solo e agregado reciclado em diferentes concentrações.

Assim, faz-se necessário que análises mais completas que atestem sobre a resistência adquirida de um solo melhorado a partir do uso de RCD contra esforços mecânicos, sejam realizadas a fim de garantir um respaldo técnico-científico necessário para que essa prática torne-se mais utilizada.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é investigar a influência do tempo de cura nas características mecânicas à compressão simples de três misturas de solo e agregado reciclado de RCD, nas concentrações de 15%, 30% e 45%. Para estas misturas, em virtude do agregado reciclado possuir resquícios de cimento, foi adotado o procedimento de cura para tempos de 7,14 e 28 dias, antes de ser efetuado o ensaio mecânico de compressão simples.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em seis capítulos. Tal divisão determina que no primeiro capítulo está exposto a INTRODUÇÃO, onde encontra-se uma visão geral sobre questões envolvendo problemas oriundos das atividades da construção civil e

demolição. Além disso, neste capítulo encontra-se o objetivo da pesquisa, e a estruturação do trabalho.

Já no segundo capítulo está a REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, onde encontram-se maiores informações acerca dos problemas gerados pela produção de resíduos sólidos, dentre estes resíduos, há aquele oriundo de atividades de construção e demolição. Neste capítulo ainda estão expostas questões sobre políticas públicas no Brasil relacionadas à geração de RCD, além de informar sobre a utilização desses resíduos na construção civil. Por fim, tem-se explicações sobre a estabilização de solos e também sobre o procedimento de cura.

No terceiro capítulo, intitulado como MATERIAIS E MÉTODOS, tem-se informações sobre as características dos materiais estudados e onde foram coletados. Além disso, é informado como foram transportados e onde foram armazenados. Ainda neste capítulo, são apresentados os métodos utilizados no procedimento de cura das amostras, e no ensaio mecânico de compressão simples.

Para o quarto capítulo, RESULTADOS E ANÁLISES, são apresentados os resultados dos ensaios de compressão simples, como também suas análises de acordo com o teor das misturas e do tempo de cura dos corpos-de-prova.

No quinto capítulo, definido como CONCLUSÕES, são apresentadas ponderações acerca dos resultados obtidos a partir do ensaio de compressão simples aliando o procedimento de cura adotado.

Já no sexto e último capítulo, o qual fora identificado como SUGESTÕES, estão expostas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção está sendo apresentada uma contextualização dos assuntos que fazem parte desta pesquisa, como por exemplo, resíduos da construção civil e procedimentos de cura de corpos de prova. Assim, buscou-se em trabalhos científicos respaldo teórico para embasar e desenvolver o presente trabalho.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

O termo “resíduos sólidos” foi adotado a partir de 1960 por sanitaristas que buscavam uma nova palavra para substituir o já usado vocábulo “lixo” (PEREIRA, 2005). Tal palavra, lixo, é entendido por Andreoli *et al.* (2014, p. 532) como sendo algo impossível de ser reaproveitado, e assim define-se como “coisas inúteis, imprestáveis, velhas e sem valor, qualquer material produzido pelo homem que perde a utilidade e é descartado”.

De acordo com Pereira (2005), no passado, o lixo era constituído, exclusivamente, de matéria orgânica, e tais concentrações eram de tão baixa quantidade, que soluções simples como aterros sanitários eram mais do que suficientes para armazenar todos os resíduos. Além disso, essa prática ajudava no controle de vetores transmissores de doenças e contribuía no processo de fertilização do solo.

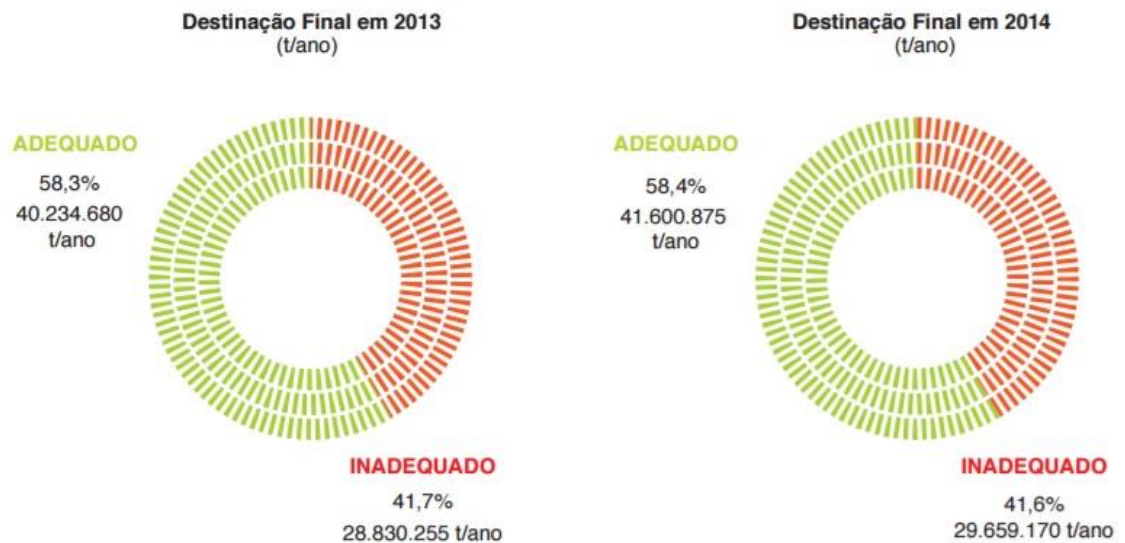
Contudo, com a chegada da industrialização, houve um aumento significativo na fabricação de produtos inorgânicos que por suas características químicas, possuem um processo de decomposição muito demorado ou em alguns casos, de tempo de vida indeterminado como, por exemplo, vidro, borracha e plástico (ANDREOLI *et al.*, 2014). Ainda segundo os autores, ao mesmo passo em que houve o aumento da produção de bens provenientes da tecnologia de extração de recursos naturais e da sua manufatura, a sociedade iniciou um processo acentuado de atender a suas próprias demandas. Ao mesmo tempo, verificou-se que os bens materiais que outrora possuíam uma vida útil mais longa, passaram a ser substituídos com maior frequência, caracterizando a atual era dos produtos descartáveis (ANDREOLI *et al.*, 2014).

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), resíduo sólido é definido como resíduo nos estados sólido e semissólido resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Em tal definição, ainda são incluídos os lodos oriundos de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, e também alguns líquidos que não podem ser lançados em rede pública de esgotos ou corpos de água, ou ainda não possuem formas de descarte tecnicamente e economicamente viáveis em virtude de suas particularidades. Ainda segundo esta norma, os resíduos devem ser classificados em relação aos potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Dessa forma, a norma em questão determina que resíduos de classe I são perigosos, enquanto os de classe II são os não perigosos, onde esta última classe divide-se em classe II A (não inertes) e classe II B (inertes).

A cada dia, a correta e eficiente gestão dos resíduos sólidos, provenientes das mais variadas atividades humanas nos centros urbanos, vem se tornando uma grande preocupação mundial. Com um consumo exagerado de bens e serviços nos dias atuais, a geração de resíduos sólidos urbanos vem crescendo assustadoramente, visto que as medidas efetivamente adotadas pelos governos e a sociedade para a redução desses resíduos não surtem efeito desejado.

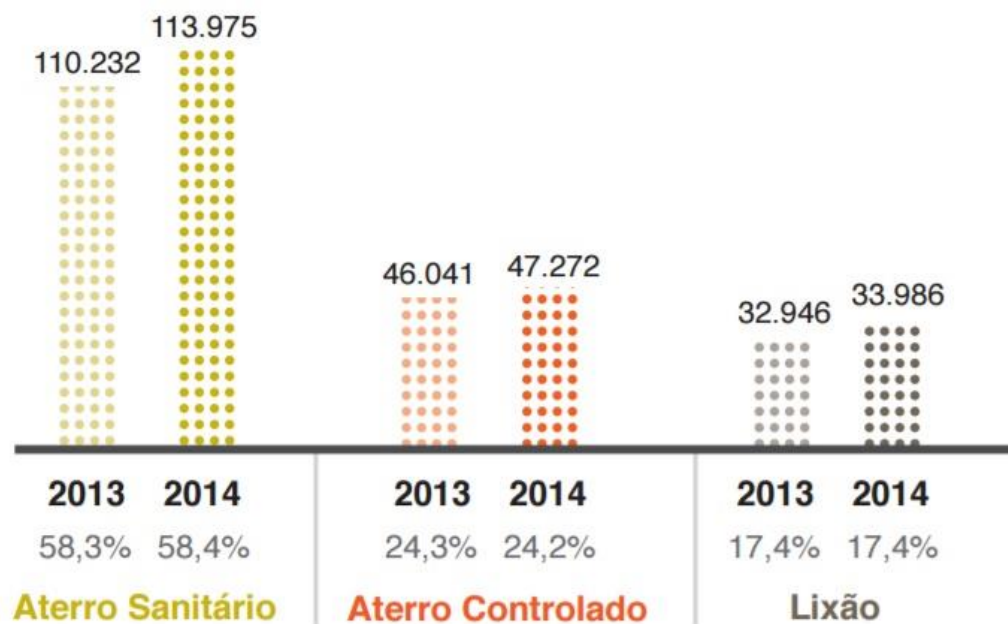
No caso do Brasil, houve um aumento de 2,02% no índice per capita de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) entre os anos de 2013 e 2014, onde tais quantidades subiram de 379,96 kg/hab/ano para 387,63 kg/hab/ano, segundo dados da pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) em 2014. Ainda segundo a pesquisa, falando em valores absolutos, no ano de 2013 houve uma geração de 76.387.200 toneladas de resíduos sólidos urbanos, e em 2014 este valor subiu para 78.583.405 toneladas, definindo um aumento de 2,9% na produção de RSU no país. Na mesma pesquisa, é informado que também houve um crescimento em relação à coleta de resíduos sólidos urbanos entre os anos de 2013 e 2014, entretanto, pouco avanço se fez em relação a destinação final adequada do RSU coletado, como é possível ver na Imagem 1. Também em relação à mesma pesquisa realizada pela ABRELPE, no ano de 2014, é possível verificar, a partir da Imagem 2, como se dá a destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

Imagem 1 - Destinação final dos RSU coletados no Brasil.



Fonte: Pesquisa ABRELPE, (2014).

Imagem 2 - Destinação final de RSU (t/dia).



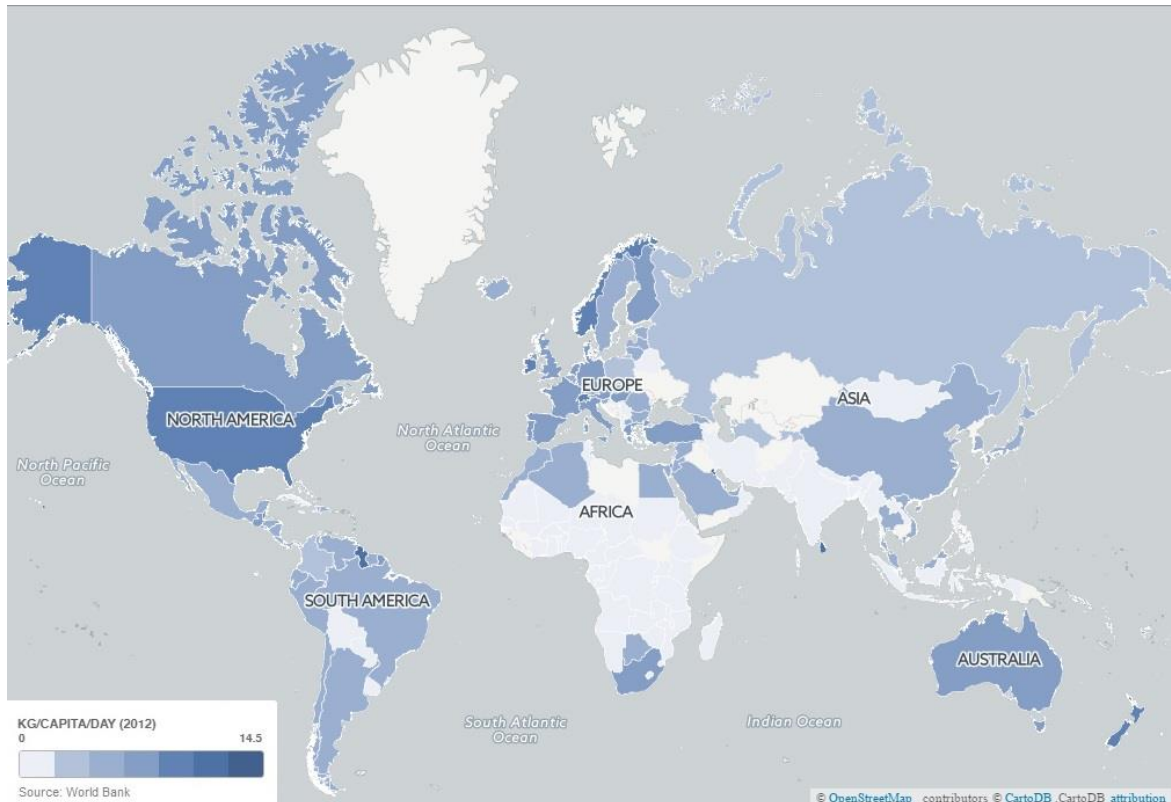
Fonte: Pesquisa ABRELPE, (2014).

Analisando os dados da Imagem 2 é possível constatar que houve um aumento de 0,1% na destinação final de RSU em aterros sanitários, enquanto houve uma queda de 0,1% para aterros controlados. Já no caso da destinação final em lixões, não houve variação.

O mapa da Imagem 3 informa a quantidade de resíduos sólidos urbanos produzidos por habitante diariamente em cada país no ano de 2012. Através deste

mapa é possível observar que os principais produtores de lixo urbano eram pequenas nações insulares, incluindo Trinidad e Tobago (14,40 kg / habitante / dia), Antígua e Barbuda (5,5kg), São Cristóvão e Nevis (5,45kg), Sri Lanka (5,10kg), Barbados (4,75kg), St Lucia (4,35kg) e as Ilhas Salomão (4,30kg). Além destes, Guiana (5,33 kg) e Kuwait (5,72 kg) também obtiveram uma pontuação alta.

Imagem 3 - Produção Urbana de Lixo por Pessoa no Mundo.



Fonte: Muggeridge (2015).

Ainda de acordo com o mapa da Imagem 3, para o caso dos países desenvolvidos, tem-se que a Nova Zelândia (3,68kg), Irlanda (3,58kg), Noruega (2,80kg), Suíça (2,61kg) e Estados Unidos da América (2,58kg) foram os cinco maiores produtores. Com todos esses dados sobre a quantidade de lixo urbano produzido em cada país, chegou-se a uma média mundial de 1,2 kg/habitante/dia, número que tende a aumentar nos próximos anos à medida que a população mundial também aumenta.

Ainda assim, a busca por modos de reaproveitamento ou reciclagem dos resíduos sólidos vem ganhando mais espaço em discussões envolvendo questões de preservação ambiental e sustentabilidade. Em tempos de crescente poluição ambiental que atinge os rios, o solo e o ar; de elevados custos e o provável

esgotamento das matérias-primas utilizadas atualmente; das dificuldades em relação aos elevados investimentos necessários para captação de água potável; da escassez e elevados custos com incineradores e aterros sanitários; vem contribuindo para que a sociedade em geral passe a discutir questões relacionadas à reciclagem (CALDERONI, 2013).

Outro termo que vem ganhando mais espaço em discussões acerca da preservação ambiental é o crescimento sustentável, imprescindível numa sociedade de cunho capitalista e que foi desenvolvido a partir de estudos da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre os problemas oriundos das mudanças climáticas (BARBOSA, 2008). A partir dele, é possível atingir estágios de crescimento econômicos satisfatórios aliando a manutenção dos recursos naturais e do meio ambiente.

2.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é uma das atividades mais antigas na história da humanidade e apesar das várias tecnologias que veem surgindo ao longo desses anos, a indústria da construção civil ainda permanece arcaica, utilizando-se de meios de produção bastante artesanais. Este modo de produção artesanal, bastante comum no Brasil, acaba gerando muito desperdício de material, contribuindo de forma decisiva para um aumento significativo na geração de resíduos sólidos (SANTOS, 2007).

Outro problema oriundo dessa atividade refere-se ao elevado consumo de matéria-prima. De acordo com Santos *et al.* (2011), a indústria da construção civil é responsável pelo consumo de 20 a 50% dos recursos naturais de todo o planeta. São elevadas quantidades de materiais inertes, como por exemplo areia e cascalho, utilizados pela construção civil que são obtidos através de extrações de sedimentos aluviais (BRASILEIRO e MATOS, 2015).

A produção de materiais de construção também é mais outro fator preocupante no que diz respeito a poluição por liberar quantidades acima do limite aceitável de poeira e dióxido de carbono (CO₂). De acordo com matéria publicada na revista digital AECweb, em “Os verdadeiros impactos da construção civil” (2010), para a produção do cimento, ocorre liberação do gás carbônico (CO₂) na atmosfera, o que vem a

contribuir para o aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, favorecer para o aquecimento global. Segundo dados do mesmo texto, para cada tonelada de clínquer produzido, que é o componente básico do cimento, há a liberação, para a atmosfera, de mais de 600kg de CO₂. O cimento é o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água, e por esta razão, dados encontrados ainda no texto em questão ressaltam que o crescimento da indústria cimentícia acabou dobrando a liberação de gás carbônico na atmosfera em um curto período de 30 anos, entre 1950 e 1980 (REVISTA DIGITAL AECweb, 2010).

Entretanto, a construção civil continua sendo uma das atividades mais importantes de qualquer país, servindo como termômetro para a sua economia, pois a mesma agrega uma quantidade elevada de investimentos, sejam eles públicos ou privados e, além disso, é capaz de empregar um grande número de trabalhadores. De acordo com texto no *website* do Palácio do Planalto da Presidência da República (2016), todo o setor da construção civil gera 13 milhões de empregos, sejam eles formais, informais e indiretos.

De acordo com Santo *et al.* (2014), apesar de sua importância para o setor econômico de um país, a construção civil é uma das atividades antrópicas que mais agredem o meio ambiente, seja por intervenção direta em áreas naturais, ou pela elevada geração de resíduos oriundos da construção, reforma, reparos e demolição.

Para a *Environmental Protection Agency* (EPA) (2003), agência norte-americana de proteção ao meio ambiente, os materiais oriundos da construção ou demolição são gerados quando novas estruturas são construídas e/ou quando construções existentes são renovadas ou demolidas. Ainda de acordo com esta agência, o RCD pode ser dividido em seis categorias, que são: construção residencial, demolição residencial, renovação residencial, construções não residenciais, demolições não residenciais e renovações não residenciais. Tais categorias foram selecionadas com base na relação entre os dados estatísticos disponíveis e os dados de amostragem dos resíduos de construção obtidos nos Estados Unidos da América (EUA).

Tabela 1- Componentes típicos do RCD.

COMPONENTE DE MATERIAL	EXEMPLO DE CONTEÚDO
Madeira	Fôrmas, tocos/árvores, madeira de engenharia
Gesso / <i>Drywall</i>	Parede
Metais	Tubos, barras, fiação, esquadrias, rufo
Plásticos	Revestimento de vinil, portas, janelas, pavimentos, tubos, embalagens
Telhado	Asfalto, madeira, ardósia, telha, feltro para telhados
Alvenaria	Blocos de cimento, tijolos, cimento de alvenaria
Vidro	Janelas, espelhos, lâmpadas
Papelão	De itens recém-instalados, como eletrodomésticos
Concreto	Fundações, calçadas, pavimentos
Pavimento asfáltico	Calçadas e estruturas rodoviárias com pasta de asfalto
Outros	Carpets, acessórios, isolamento, azulejos de cerâmica

Fonte: *Building-related construction and demolition materials amounts*, EPA (2003).

Na história mais antiga do homem, quando o mesmo passou a deixar de ser nômade para se estabelecer em locais fixos, percebe-se o início de modos, até então, bem arcaicos de construção. Tais construções, que inicialmente eram bem precárias, com o tempo foram sendo aperfeiçoadas até chegarem aos modelos construtivos conhecidos atualmente. Com essa sedentarização do homem, iniciou-se, de forma lenta e de baixa intensidade, a produção de resíduos, incluindo-se os oriundos das atividades de construção civil ou demolição (PEREIRA, 2005).

Entretanto, o processo atual de mudança das pessoas de áreas rurais para as áreas urbanas foi quando, de fato, elevou a contribuição para a produção dos resíduos da construção e demolição. Assim, a acentuada migração de pessoas do campo para as cidades nos anos 60 e 70 (Tabela 2), no Brasil, fez com que o processo de

urbanização ocorresse de forma acelerada, o que provocou o rápido crescimento de atividades do setor construtivo, e, conseqüentemente, a elevada geração de resíduos da construção e demolição (RCD) (HALMEMAN, SOUZA e CASARIN, 2009). Tais atividades do setor construtivo englobavam tanto as obras de edificações habitacionais, quanto as de infraestrutura, construção de indústrias, implantação de redes de energia, abastecimento de água e coleta de esgotos, drenagem de águas pluviais, entre outras (ARAGÃO JÚNIOR, 2016).

Tabela 2 - Distribuição populacional do Brasil segundo a situação de domicílio.

ANO	POPULAÇÃO URBANA		POPULAÇÃO RURAL		POPULAÇÃO TOTAL
	Nº DE HABITANTES	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TOTAL (%)	Nº DE HABITANTES	PORCENTAGEM EM RELAÇÃO AO TOTAL (%)	
1940	12.280.182	30,22%	28.356.133	69,78%	40.636.315
1950	18.782.891	36,16%	33.161.506	63,84%	51.944.397
1960	32.004.817	45,08%	38.987.526	54,92%	70.992.343
1970	52.904.744	55,98%	41.603.839	44,02%	94.508.583
1980	82.013.375	67,70%	39.137.198	32,30%	121.150.573
1991	110.875.826	75,47%	36.041.633	24,53%	146.917.459
2000	137.755.550	81,23%	31.835.143	18,77%	169.590.693
2010	160.925.792	84,36%	29.830.007	15,64%	190.755.799

Fonte: IBGE (2010, *apud* Aragão Júnior, 2016).

Contudo, ao passo em que nas últimas décadas o processo de aceleração da construção civil veio transformando o ambiente urbano no Brasil, até de uma forma meio desordenada, as medidas de controle de destinação final dos RCD ainda é recente e pouco utilizada pelas empresas construtoras. De acordo com Lima e Tamal (1998, *apud* Daltro Filho *et al.*, 2006), o maior responsável pela grande quantidade de resíduo oriundo das atividades da construção civil é o setor informal, onde enquadra-se as pequenas reformas, ampliações, autoconstrução, “construtor formiguinha”, entre outros; enquanto que o setor formal contribui com, aproximadamente, 1/3 do volume total de RCD gerado.

De acordo com Pinto (1999), as atividades de construção são responsáveis por cerca de 50% dos RCD, enquanto que as atividades de demolição e manutenção são responsáveis pelos outros 50%. Para Brossink *et al.* (1996) citado por John (2000), na

Alemanha e em países da Europa Oriental, cerca de 2/3 do entulho gerado advém de manutenção e demolição, ficando o restante proveniente das atividades de construção. No caso dos EUA, a EPA (1998), estima que somente 8% dos resíduos são oriundos das atividades de construção, enquanto 33% advém de demolições não residenciais. Na Tabela 3, estão expostas estimativas de produção de resíduos da construção e demolição em diferentes países.

Tabela 3 - Estimativas da geração de resíduos da construção civil em diferentes países.

PAÍS	QUANTIDADE ANUAL		FONTE	OBSERVAÇÕES
	Mton/ano	Kg/hab.		
Suécia	1,2 – 6	136 – 680	TOLSTOY, BORKLUND & CARLSON (1998), EU (1999)	P.P,1996
Holanda	12,8 – 20,2	820 – 1300	LAURTZEN (1998), BROSSINK, BROUWERS & VAN KESSEL (1996), EU (1999)	
EUA	136 – 171	463 – 584	EPA (1998) PENG, GROSSKOPE KIBERT (1994)	1996
UK	50 – 70	880 – 1120	DETR (1998), LAURITZEN (1998)	1995, 1996
Bélgica	7,5 – 34,7	735 - 3359		P. 1990-1992
Dinamarca	2,3 – 10,7	440 – 2010	LAURITZEN (1998), EU(1999)	
Itália	35 – 40	600 – 690		
Alemanha	79 – 300	963 – 3658		P, 1994-1996
Japão	99	785	KASAI (1995)	1995
Portugal	3,2	325	EU (1999)	Exclui solos.
Brasil	na	230 – 660	PINTO (1999)	Algumas cidades apenas

Fonte: John, (2000)

Os resíduos gerados com as atividades da construção ou demolição são, geralmente, descartados clandestinamente em locais urbanos ou periféricos, que vem a causar, além dos impactos ambientais naquelas regiões onde fora depositado, um aumento nos custos às administrações públicas (DALTRO FILHO *et al.*, 2006). Segundo Oliveira e Mendes (2008),

“Os elevados gastos por parte da Administração Pública na limpeza e remoção desses resíduos de locais inadequados, bem como da construção

de um local apropriado para receber os mesmos, é hoje um dos grandes problemas enfrentados pelos governantes, o que acaba gerando um ciclo vicioso de disposição inadequada e remoção dos mesmos pelas companhias de limpeza pública” (OLIVEIRA E MENDES, 2008, p. 2)

Esses tais resíduos da construção e da demolição, no Brasil, são mais conhecidos como entulho. Para a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON (2017), entulho é definido como “o conjunto de fragmentos ou restos de tijolo, concreto, argamassa, aço, madeira, etc., provenientes do desperdício na construção, reforma e/ou demolição de estruturas, como prédios, residências e pontes”. Com isso, o entulho de construção é composto de restos e fragmentos de materiais, enquanto o entulho de demolição possui apenas fragmentos (possuindo, então, maior valor qualitativo) (ABRECON, 2017). A ABRECON divide os resíduos que são encontrados no entulho em três grupos:

- Grupo 1 – Materiais compostos de cimento, cal, areia: concretos, argamassas, blocos de concreto.
- Grupo 2 – Materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos.
- Grupo 3 – Materiais não-recicláveis: solo, gesso, matéria orgânica, isopor.

No Brasil, é muito comum observar entulhos depositados em locais impróprios, como em ruas e nas calçadas, atrapalhando o tráfego tanto de automóveis quanto de pedestres; em terrenos baldios; em encostas; além de serem descartados em leitos de córregos e rios (NUNES, 2004). Com isso, essas formas de descarte impróprio do entulho acabam gerando muitos problemas de ordem ambiental e social, como a poluição dos mananciais, inclusive do lençol freático; a contaminação do solo; poluição visual das regiões; proliferação de vetores de doenças; obstrução dos sistemas de drenagem que acaba contribuindo com as enchentes; entre outros problemas (CASSA *et al.*, 2001). A ABRELPE, através de seu trabalho de 2014, coletou dados sobre a quantidade de RCD gerados em municípios de todas as regiões do Brasil (Tabela 4), onde é possível observar quais as regiões que mais geram entulho no país.

Tabela 4 - Quantidade de RCD gerado pelas regiões brasileiras.

REGIÕES	RCD COLETADO POR DIA (ton/dia)		AUMENTO (%)
	2013	2014	
NORTE	4.280	4.539	6,05%
NORDESTE	22.162	24.066	8,59%
CENTRO-OESTE	13.439	13.675	1,76%
SUDESTE	61.487	63.469	3,22%
SUL	16.067	16.513	2,78%
BRASIL	117.435	122.262	4,11%

Fonte: Pesquisa ABRELPE (2014).

2.3 POLÍTICAS PÚBLICAS ACERCA DO RCD NO BRASIL

Em relação às políticas públicas acerca do RCD, tudo o que vem sendo praticado no Brasil é relativamente recente. De acordo com Tessaro *et al.* (2012), somente a partir de 1990 os resíduos da construção e demolição ganharam a atenção de pesquisadores. Isto acabou resultando em pesquisas científicas sobre o tema e também o desenvolvimento tecnológico em diferentes áreas da engenharia, culminando em trabalhos que serviram como referência para políticas públicas adotadas no Brasil (BERNARDES *et al.*, 2008).

Dessa forma, foi estabelecido, em 2002, a resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2002), que trata em seu Artigo 1º sobre “estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais”. Tal resolução foi estabelecida levando-se em conta:

- A Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, mais conhecida como Estatuto das Cidades e Plano Diretor;
- Da necessidade de implementação de diretrizes para a efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos provenientes da construção civil;
- Que a disposição de resíduos da construção civil em locais inadequados contribui para a degradação da qualidade ambiental;
- Que os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas;

- Que os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparos e demolições de estruturas e estradas, bem como por aqueles resultantes da remoção de vegetação e escavação de solos;
- A viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de resíduos da construção civil;
- Que a gestão integrada de resíduos da construção civil deverá proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Esta Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), ainda classifica os resíduos da construção civil em diferentes classes ou grupos, como pode-se ver abaixo:

- Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, solo provenientes de terraplanagem, tubos, meio-fios, etc;
- Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeira, embalagens vazias de tintas e gessos;
- Classe C – são os resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

A Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002), também determina, em seu Artigo 4º, que todos os geradores possuem, por obrigação prioritária a não geração de resíduos, caso esta não seja possível, deverão utilizar de mecanismos que visem a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento de resíduos sólidos e a disposição final dos rejeitos de forma ambientalmente correta.

Falando-se ainda sobre a Resolução CONAMA Nº 307 (BRASIL, 2002), é determinado onde os resíduos da construção civil (RCC), após o processo de triagem, deverão ser dispostos. Assim, tem-se que para os resíduos de:

- Classe A – deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros;
- Classe B – deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- Classe C – deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- Classe D – deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas

Ainda no âmbito das leis, foi instituída, em 2 de agosto de 2010, a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que trata das Políticas Nacionais de Resíduos Sólidos (PNRS); e altera a Lei nº 9.605, de 2 de fevereiro de 1998, que trata sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Em seu Artigo 1º, a PNRS (BRASIL, 2010) determina as “diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis”.

De acordo com Aragão Júnior (2016), no que diz respeito às normas brasileiras relacionadas às diretrizes acerca da utilização dos RCD, existe pouco material disponível. Entretanto, em 2004 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicou cinco normas que abordam desde a correta disposição dos resíduos, até o uso dos agregados reciclados oriundos das atividades de construção e demolição em pavimentação e no preparo de concreto que não será utilizado para fins estruturais (ARAGÃO JÚNIOR, 2016). Estas normas são as:

- NBR 15112 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR 15114: – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Área de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;
- NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;
- ABNT NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

2.4 UTILIZAÇÃO DO RCD NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A grande quantidade de entulho mineral já despertava a atenção do homem desde a antiguidade. De acordo com Levy (1995), já no período de edificação das cidades do Império Romano, já se tem os primeiros registros de reutilização de resíduos minerais da construção civil para uso em novas obras. Entretanto, somente a partir de 1928, iniciou-se o desenvolvimento de pesquisas de maneira sistemática, onde buscava-se avaliar o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados oriundos de alvenaria britada e de concreto (LEVY,1995). No entanto, o uso do RCD reciclado iniciou-se, de forma mais abrangente, após o final da Segunda Guerra Mundial. Assim, tem-se que a partir de 1946, com a grande quantidade de entulho oriundo a partir da demolição/destruição das edificações existentes nas cidades Europeias, o RCD foi britado e utilizado como agregado para que se pudesse atender a demanda da época (WEDLER e HUMMEL, 1946 apud LEVY, 1995).

De acordo com Vieira (2003), durante esse período pós Segunda Guerra Mundial, o material utilizado na reciclagem do RCD foi obtido a partir de um volume estimado entre 400 e 600 milhões de metros cúbicos de entulho. Ainda segundo o autor, no ano de 1955, as instalações responsáveis pela reciclagem do RCD produziram milhões de metros cúbicos de agregado reciclado, que foram utilizados para a construção de 175.000 unidades habitacionais. Segundo Levy (2002, *apud* Vieira, 2003), no final do ano de 1956, aproximadamente 85% do entulho oriundo da Segunda Guerra Mundial já havia sido removido das cidades para as centrais de reciclagem, e em 1960, todo este entulho já havia sido reciclado na Alemanha.

No entanto, é fácil perceber que o processo de utilização do RCD ainda não é tão difundido pelo mundo, sobretudo em nações com um grau de desenvolvimento e/ou poder econômico inferior ao de países desenvolvidos. De acordo com Levy (1995), atualmente, na Europa, os desperdícios de material oriundo das atividades de construção civil giram em torno de 200 milhões de toneladas por ano entre concreto, pedras e recursos minerais valiosos. Para Laguette (1995), conforme citado por Levy (1995), esse volume de material seria suficiente para a construção de uma rodovia com seis faixas de rolamento interligando as cidades de Roma e Londres.

Ainda assim, verifica-se que alguns países que possuem um alto grau tecnológico de desenvolvimento, como EUA, Japão, Alemanha, França, Bélgica, entre outros, veem buscando estudar e pesquisar de forma mais intensa a reutilização dos RCD com a finalidade alcançar um grau de padronização dos procedimentos adotados na obtenção dos agregados reciclados, atingindo assim, os limites necessários para que se chague a um nível mínimo de qualidade requerido (LEVY e HELENE, 1995).

Para os autores Rocha e Cheriaf (2003), vem aumentando a preocupação com os problemas ambientais que surgem a partir das atividades da construção civil, pois atualmente existe uma consciência de que se deve desenvolver materiais e processos construtivos que não venham causar danos ao homem e ao meio ambiente. Tal afirmativa pode ser verificada, por exemplo, com a redução no uso de amianto em atividades de construção civil no Brasil. De acordo com matéria publicada no website do Senado Federal (2017), em “Manejo do amianto pode se tornar proibido no Brasil”, esta substância vitima mais de 100 mil pessoas por ano, de acordo com dados da Organização Internacional do Trabalho (OTI). Dessa forma, há um projeto (PLS 30/2017) do senador Paulo Paim que visa proibir a extração, industrialização, importação, transporte e armazenamento de amianto no Brasil já que seu uso ainda não é efetivamente proibido, como ocorre em cerca de 40 países (SENADO FEDERAL, 2017).

Rocha e Cheriaf (2003), determinam que a importância do aproveitamento de resíduos deve-se basicamente a dois fatores. Para estes autores, esses fatores são a possibilidade de desenvolvimento de materiais de baixo custo a partir de subprodutos industriais, disponíveis localmente, através da investigação de suas potencialidades”; e “a interface direta do setor da construção civil com a cadeia produtiva fornecedora de insumos, bem minerais, e, indiretamente, através do potencial uso de materiais e

processos que causem mínimo impacto na cadeia produtiva. Para a ABRECON (2017), através de um trabalho bem planejado e organizado, a implantação de uma usina de reciclagem de RCD pode resultar em benefícios sociais para o município, e também poderá gerar um retorno financeiro relativamente alto para quem investir nesse setor graças às condições ofertadas. Na Tabela 5, tem-se alguns exemplos de produtos obtidos a partir da reciclagem de RCD.

Tabela 5 - Produtos reciclados, suas características e possíveis usos.

PRODUTO REICLADO	CARACTERÍSTICAS	USO RECOMENDADO
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concretos e blocos de concretos da construção civil.	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 concretos e blocos de concretos da construção civil.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, etc.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concretos e blocos de concretos da construção civil.	Fabricação de concretos não estruturais e drenagens.
Brita 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, sub-base, reforço do subleito 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 concretos e blocos de concretos da construção civil.	Obras de pavimentação, drenagens, terraplenagem, etc.

Fonte: Urbem tecnologia ambiental (2017).

No que diz respeito à reciclagem de RCD, Mansor *et al.* (2010), determina que reciclar significa transformar os materiais que compõem os resíduos, modificando suas características físico-químicas iniciais, para a obtenção de novos produtos. Contudo, os processos de transformação de produtos antigos em novos requerem, quase sempre, a utilização de processos nem sempre ambientalmente corretos. Ângulo *et al.* (2001) citam que variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo era antes de ser reciclado.

John e Ângulo (2003) reforçam a ideia de Ângulo *et al.* (2001) apresentada anteriormente ao afirmarem que esse processo de transformação de um resíduo em um produto comercial efetivamente utilizado pela sociedade oferece grandes oportunidades para aumentar a sustentabilidade social e ambiental, entretanto também oferece significativos riscos ambientais, técnicos e financeiros e para a saúde dos trabalhadores. Dessa forma, torna-se necessário que haja uma análise prévia sobre a viabilidade técnica e também econômica acerca da reciclagem do material.

Um outro problema da reciclagem de RCD é sobre a heterogeneidade dos materiais componentes do entulho. Atualmente, a utilização de gesso nos revestimentos internos para alvenaria e teto vem crescendo muito e isso acaba causando uma certa problemática caso não haja um processo de controle instalado nas centrais de reciclagem (ÂNGULO *et al.*, 2001). De acordo com Quebaud e Buyle-Bodin (1999, *apud* Ângulo *et al.*, 2001), para o caso de RCD contaminado por plásticos e madeiras, pode ser empregado o uso de tanques de depuração por flotação e separadores magnéticos. Como solução para este problema de variabilidade da composição e das outras propriedades desses agregados, Ângulo *et al.* (2001) sugerem que os resíduos poderão ser manejados em pilhas de homogeneização, buscando-se reduzir esta variabilidade. Em outro trabalho, Ângulo (2000) sugere que deve haver o emprego dos agregados em diversas finalidades, no entanto com um adequado controle, permitindo a valorização do resíduo e não simplesmente destiná-lo para as necessidades de pavimentação, que possuem as de exigências de qualidade mais inferior.

De acordo com a ABRECON (2017),

O entulho se apresenta na forma sólida, com características físicas variáveis, que dependem do seu processo gerador, podendo apresentar-se tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção (como a

da areia e a da brita), como em formatos e dimensões irregulares: pedaços de madeira, argamassas, concretos, plástico, metais, etc (ABRECON, 2017).

Ainda segundo a ABRECON, no caso das obras de reformar ou ampliação, o que realmente falta para uma redução na produção de resíduos é uma cultura de reutilização e reciclagem. A ABRECON (2017), através de seu *website*, demonstra algumas possibilidades de utilização para os resíduos e as suas correspondentes vantagens, como pode ser verificado na Tabela 6.

Tabela 6 - Vantagens na utilização RCD reciclado.

TIPO DE UTILIZAÇÃO	VANTAGENS
Utilização em pavimentos	É a forma de reciclagem que exige menor utilização de tecnologia, o que implica menor custo do processo.
	Permite a utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles.
	Economia de energia no processo de moagem do entulho (em relação à sua utilização em argamassas), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas.
	Possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/ trituração.
Utilização como agregado para concreto não estrutural	Maior eficiência do resíduo quando adicionado aos solos saprolíticos em relação a mesma adição feita com brita. Enquanto a adição de 20% de entulho reciclado ao solo saprolítico gera um aumento de 100% do CBR, nas adições de brita natural o aumento do CBR só é perceptível com dosagens a partir de 40%.
	Utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles.
	Economia de energia no processo de moagem do entulho (em relação à sua utilização em argamassas), uma vez que, usando-o no concreto, parte do material permanece em granulometrias graúdas.
	Possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolições e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem/ trituração.

	Possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento.
Utilização como agregado para confecção de argamassas	Utilizado do resíduo no local gerador, o que elimina custos com transporte.
	Efeito pozolânico apresentado pelo entulho moído.
	Redução no consumo do cimento e da cal.
	Ganho na resistência a compressão das argamassas.

Fonte: ABRECON, (2017).

Ainda de acordo com a ABRECON, em outros casos, o RCD pode ser também utilizado cascalhamento de estradas, preenchimento de vazios em construções, preenchimento de valas de instalações e reforço de aterros.

Como já exposto anteriormente, o Artigo 4º da Resolução do CONAMA determina que o gerador do resíduo deverá, primeiramente, não produzir resíduos, ou de certa forma produzir o mínimo possível de RCD. Tal implicação às empresas é de extrema importância, pois determina que os setores da construção civil responsáveis desde a etapa do projeto à execução da obra, façam um completo estudo dos materiais que serão empregados, além das técnicas construtivas que deverão ser utilizados com a finalidade de diminuir, ao máximo, os impactos ambientais.

Quanto menos artesanal forem os processos construtivos adotados pelas empresas construtoras, onde buscando-se evitar, sobretudo, o retrabalho das atividades que vieram a dar errado tanto por material utilizado de qualidade inferior quanto por mão de obra não especializada; mais limpo será o canteiro de obras, evitando o desperdício dos materiais de construção e posteriormente o descarte como forma de entulho.

Buson (2009) e Mansor *et al.* (2010), determinam que os projetos deveriam analisar o ciclo de vida dos materiais de construção fazendo-se uma relação direta com o consumo de energia para a sua fabricação (onde quanto menos energia empregada no seu processo de produção, mais interessante seria seu uso), além de verificar o grau de reciclabilidade; e, conjuntamente, desenvolver técnicas construtivas que acabem gerando pouco RCD, evitando o desperdício de materiais no canteiro de obra.

Mogrovejo (2013), também reforça os ideais de uma engenharia mais racionalizada com a geração mínima de RCD ao afirmar que a racionalização dos processos construtivos, a gestão de qualidade e a modulação de projeto, materiais e componentes seriam algumas soluções positivas para que houvesse uma redução na produção desses resíduos. A autora citada anteriormente ainda acrescenta que todo projeto construtivo deveria incluir uma avaliação sobre a possível utilização dos resíduos industriais produzidos na sua execução, especialmente aqueles resíduos que se encontrem perto do local da obra.

2.5 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

Uma importante prática utilizada pela área da Engenharia Civil responsável pelo estudo do comportamento dos solos é a utilização de técnicas para a obtenção de um solo, que inicialmente possui uma resistência baixa, em um solo com maior resistência. Tal técnica, muito utilizada pela área da geotecnia no estudo da pavimentação, é conhecida como estabilização do solo.

França (2003) define estabilização do solo como uma técnica de conferir ao solo, resistência contra as ações climáticas, e aos esforços e desgaste induzidos pelo tráfego, sob as condições mais adversas consideradas no projeto.

Para Nogami e Villibor (1995), a estabilização do solo e materiais “*in situ*” (areia, pedregulho, etc) “*in situ*” ou transportado, compactado artificialmente é definido como sendo a modificação de qualquer propriedade dos solos que melhore seu comportamento mecânico e hídrico quando sob ação de cargas e das intempéries. Para estes autores, o termo estabilização de um material é entendido como um tratamento mecânico pela adição de, no mínimo, outro material de origem natural ou artificial com a finalidade de:

- Melhorar as propriedades mecânicas e hidráulicas como, por exemplo, aumentar a resistência à compressão; diminuir as deformações elásticas e permanentes; aumentar ou reduzir a permeabilidade; diminuir a expansão e reduzir a contração;

- E garantir a continuidade das propriedades citadas anteriormente, ao decorrer do tempo, ainda que esteja continuamente sob a ação de cargas dinâmicas dos veículos.

Moreno (1996) conforme citado por Mogrove (2013), dá uma definição mais ampla do que viria a ser a estabilização do solo ao determinar que os propósitos de se utilizar dessa prática são os de melhorar:

- Estabilidade volumétrica: muitos solos acabam sofrendo variações volumétricas ao passo que ocorre alterações de teor de umidade.
- Resistência: Propriedade fundamenta da mecânica dos solos e geralmente tem-se que com um aumento de teor de umidade, ocorre diminuição da resistência do solo.
- Permeabilidade: Propriedade do solo que permite a passagem de água e ar para seu interior. Tal propriedade pode ser afetada por diversos fatores, tais como relação de vazios do solo, temperatura da água, grau de saturação, etc.
- Compressibilidade: É a variação volumétrica do solo sob o estado de qualquer carga. Tal característica influencia as propriedades do solo pois modifica a permeabilidade e altera as forças existentes entre as partículas, modificando a resistência ao cisalhamento e produz deslocamentos (recalques).
- Durabilidade: É a resistência aos processos de degradação, erosão e abrasão.

De acordo com Guimarães (1980) e Nóbrega (1985) conforme citado por França (2003) a estabilização do solo é uma prática bastante antiga, chegando a ser milenar, e com o passar dos séculos vem sendo utilizada como um recurso técnico na construção civil, ainda que sob condições primitivas.

Com o passar dos anos, os diferentes tipos de solos passaram a ser conhecidos, e concomitantemente, foram analisados em relação ao grau de interferência que passavam ao estar sujeito à presença da umidade, surgindo a necessidade de neutralizar os efeitos da água, para o qual foram desenvolvidos estudos que concluíram que a melhoria das propriedades contribuía para o desenvolvimento da engenharia dos solos (MORENO, 1996 *apud* MOGROVEJO,

2013). Ainda de acordo com Moreno (1996), conforme citado por Mogrovejo (2013), o solo, que é o material de construção mais abundante vem sendo utilizado pelo homem em trabalhos de engenharia desde o princípio da história. Portanto, os conceitos básicos de melhoramento, compactação de solos, fundação, reforço e drenagem, foram desenvolvidos há centenas de milhares de anos e permanecem inalterados (MORENO, 1996 *apud* MOGROVEJO, 2013).

Uma área que utiliza bastante as práticas de estabilização do solo é a área da geotecnia que estuda a pavimentação. Nessa situação, têm-se áreas bastante amplas (em que as dimensões são medidas em quilômetros) onde, geralmente, as características físicas do solo sofrem muitas variações ao longo do percurso previsto para a futura estrada. Tal característica desse tipo de construção eleva a necessidade de utilizar de medidas técnica e economicamente viáveis, pois para o caso de atividades de movimentação de terra, quanto maior a distância a ser percorrida para se conseguir um solo de qualidade satisfatória, maiores serão os custos finais da obra.

Portanto, a estabilização do solo vem a se tornar uma prática bastante interessante para a construção de estradas. De acordo com França (2003), dentre as várias possibilidades de estabilização de solos praticadas na construção de estradas, a estabilização mecânica e química são as mais utilizadas. Além das estabilizações mecânicas e químicas, ainda há as físicas.

No caso das estabilizações mecânicas, França (2003), define que as melhorias introduzidas no comportamento do solo advêm das alterações no seu sistema trifásico, ou seja nas fases sólida, líquida e gasosa. Lima *et al.* (1993, *apud* França, 2013), determina que a estabilização mecânica, muito utilizada para construção de estrada, restringe-se a: rearranjo de partículas (compactação); e adição ou retirada de partícula (correção granulométrica). De acordo com Sampaio (2008), a estabilização mecânica através do rearranjo das partículas é o mais utilizado, e, geralmente, é realizado associado à estabilização física e/ou química.

Quando fala-se em estabilização química, fala-se em alterar a estrutura inicial do solo a partir da introdução de uma determinada quantidade de aditivo que será suficiente para melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, possibilitando o seu emprego para fins de projeto (FRANÇA, 2003). Nesse tipo de técnica, podem ser adicionados diversos aditivos químicos e a partir daí, inicia-se o processo de aglutinação através de reações químicas e não físicas (CRISTELO, 2001). De acordo com Sampaio (2008), ao utilizar esses aditivos, que geralmente são cal hidratada,

cimento Portland, cinzas volantes e emulsão asfáltica; ocorre um processo de cimentação dos grãos entre si, conferindo um aumento na resistência final do solo.

Ainda sobre a estabilização química, Correia (1996, *apud* Mogrovejo, 2013), determina que o tratamento de solos com esses materiais em obras de terraplanagem possui dois objetivos: melhorar os solos muito úmidos; e também o de realizar camadas de solo suficientemente rígidas e estáveis em relação às variações hídricas, capazes de suportar a construção das camadas superiores e ter um bom comportamento sob a ação do tráfego.

De acordo com Cristelo (2001), em situações onde as características de estabilidade resultantes de uma aceleração da consolidação não podem ser obtidas através de processos mecânicos ou quando se tornam necessários elevados valores de resistência e rigidez de um solo, devem-se considerar outras técnicas de estabilização, como por exemplo a estabilização física.

A estabilização física visa a estabilização térmica e a estabilização por eletro-osmose, que vem sendo objeto de vários testes ao longo de vários anos, onde resultados variáveis veem sendo obtidos (CRISTELO, 2001). Ainda segundo o autor, esse tipo de estabilização não é economicamente viável, o que torna seu uso exclusivo para casos onde nenhuma outra técnica com um custo mais baixo possa ser utilizada.

2.6 PROCEDIMENTO DE CURA

A NBR 14.931 (ABNT, 2004), determina que o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais enquanto não houver endurecimento satisfatório. Tal técnica visa a manutenção da quantidade de água (evitando, sobretudo, a evaporação por meio da incidência do sol e ação dos ventos) do interior da peça que foi necessária para sua fabricação. Ainda de acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), os agentes que podem prejudicar o concreto são:

- Mudanças bruscas de temperatura,
- Processo de secagem,
- Ação de chuva forte,
- Água torrencial,
- Congelamento,
- Agentes químicos,

- Choques e vibrações que possam produzir fissuras na massa de concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura.

A norma em questão determina que os elementos estruturais devem passar pelo procedimento de cura até que atinjam resistência característica à compressão igual ou superior a 15 MPa, e se nesse processo for utilizado água, a mesma deve ser potável ou então satisfazer às exigências da NBR 12654:1992.

O procedimento de cura de elementos estruturais em concreto pode ser efetuado de algumas maneiras, desde que seja escolhida a melhor forma visando o tipo de material disponível na obra, do tamanho e do formato da estrutura, das condições climáticas, além de aspectos econômicos e estéticos (PEINADO, 2013). Ainda de acordo com o autor, alguns dos métodos bastante usuais em canteiros de obras são:

- Molhagem constante – Basicamente é feito uma molhagem constante das estruturas utilizando mangueira comum;
- Aspersão – Baseia-se no lançamento contínuo de água utilizando de um sistema de aspersores sobre superfícies, em geral, planas;
- Irrigação – Consiste em usar mangueiras microperfuradas dispostas na região que deverá ser curada;
- Alagamento – Deve-se ao procedimento de cobrir completamente a superfície com uma camada de água, evitando-se a necessidade de molhagem continua com mangueira, por exemplo;
- Cobertura com tecidos e/ou mantas úmidas – Utiliza-se de tecidos saturados com água capazes de reter a umidade sobre a superfície a ser curada, como por exemplo juntas, sacos de aniagem, mantas geotêxteis, entre outras;
- Cura química – Utiliza-se de compostos líquidos que são capazes de formar membranas e assim podem ser aplicados sobre a superfície do concreto para reduzir ou retardar a perda de umidade.

Não somente para peças em concreto, também há para o caso de solocimento, normas exclusivas ou documentos, em alguns casos, expedidos por departamentos de trânsito, que determinam diretrizes para o correto procedimento de

cura. Tais documentos, como o do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, DNIT 143/2010: Pavimentação – Base de solo-cimento – Especificações e serviços, definem a sistemática a ser empregada na execução da camada de base de pavimento utilizando misturas de solos e cimento. Ainda nesta norma são apresentados os requisitos concernentes a materiais, equipamentos, execução, e inclusive plano de amostragem e ensaios, condicionantes ambientais, controle de qualidade, condições de conformidade e não-conformidade e os critérios de medição dos serviços (DNIT, 2010).

A norma DNIT 143/2010 (DNIT, 2010) estabelece que após a mistura do solo-cimento realizado em central e o posterior transporte e despejo, o trecho deve ser submetido a um processo de cura, devendo para este fim ser protegido contra a perda rápida de umidade durante período de, pelo menos, sete dias, pela aplicação de camada de solo, de capim, ou de outro material, conforme indicado no projeto. Já em situações onde a mistura é realizada na própria pista, o processo de cura é o mesmo adotado para o caso anterior e inicia-se após a compactação do solo.

Outro documento é a norma NBR 12024 (ABNT, 1992): Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos, que estabelece e determina as condições requeridas para a moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos de mistura de solo-cimento que foram compactados na energia normal e destinados aos ensaios de durabilidade por molhagem e secagem e de compressão axial. Nesta norma foram utilizados dois métodos levando-se em conta a granulometria do solo:

- a) Método “A” – Usando material que passa nas peneiras nº 4 (4,8 mm), para solos com 100% de partículas de tamanho menor do que 4,8mm;
- b) Método “B” – Usando material que passa na peneira de 19 mm, para solos com até 45% de partículas retidas na peneira nº 4.

Ao fim desta norma, é determinado que, imediatamente após a moldagem e desmoldagem, os corpos de prova deverão ser colocados em câmara úmida ou equivalente, e lá devem ser mantidos pelo período completo de tempo especificado para a sua cura antes do ensaio. Para fins exclusivos de dosagem de solo-cimento, o período de cura dever ser, obrigatoriamente, de sete dias; outras idades de cura podem ser consideradas para controle de obra. A NBR 12024 (ABNT, 1992) determina

que a temperatura no interior dessa câmara úmida deverá ficar entre 21 °C e 25 °C e a umidade relativa do ar não deve ser inferior a 95%.

Em situações de utilização de corpos de prova de solo-cimento, Grando *et al.* (2016) discorrem em seu trabalho que as amostras, após o processo de moldagem, foram colocadas em sacos plásticos e depois devidamente fechados e por fim acomodados em caixas térmicas durante todo o tempo de cura necessário para a pesquisa. Em outro trabalho ainda sobre o tema, Almeida *et al.* (2016), além de utilizarem das diretrizes impostas pela NBR 12024 (ABNT, 2016) acerca da cura, deixaram os corpos de prova de solo-cimento mergulhados em água por um período de quatro horas.

Utilizando outro método visando a cura dos corpos de prova de solo-cimento, Bica *et al.* (2016), discorrem que o processo de cura adotado por eles no trabalho iniciou-se enrolando os corpos de prova em papel filme e depois inserindo uma camada de parafina. Tudo isso visando a manutenção da umidade durante o período de cura utilizado na pesquisa.

Para o caso de tijolos produzidos a partir da mistura de solo-cimento, Campos (2012), afirma que após a etapa de desforma, o processo de cura dos tijolos é realizado no próprio local de armazenamento, levando-se em conta que não deve haver movimentações, pelo tempo em que durar o processo. O autor citado determina que os tijolos deverão ser molhados, por pelo menos, três vezes por dia durante os sete primeiros dias, e só após este processo, poderão ser transportados para outros locais ou até mesmo utilizados.

Em outro trabalho sobre tijolos de solo-cimento, Pisani (2006), determina que durante os três primeiros dias de cura, a água deve ser pulverizada sobre os tijolos de duas a quatro vezes ao dia com, dependendo da umidade relativa do ar e da temperatura, a fim de mantê-los úmidos. Ainda segundo a autora, os tijolos não devem ser armazenados em ambientes com vento ou que sejam atingidos diretamente pelo sol, e somente após 28 dias, a cura estará completa e o tijolo terá aproximadamente 95% de sua resistência total de cálculo.

Essas recomendações contidas em normas ou procedimentos utilizados em trabalhos acerca da cura de corpos de prova ou material constituído de solo-cimento visam, sobretudo, a manutenção da umidade ótima que foi necessária no processo de

compactação do material. Como o processo de compactação determina a redução de vazios, há o aumento da massa específica do material, que pode influenciar na resistência mecânica (SILVA *et al.*, 2010). Dessa forma, a cura dos corpos de prova ou de qualquer outro material constituído de solo-cimento visa a obtenção da máxima resistência ao controlar a perda de umidade da mistura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Como esta monografia faz parte de uma das sugestões de futuras pesquisas de outro trabalho já realizado por Aragão Júnior (2016), os materiais e métodos utilizados são os mesmos, diferenciando-se apenas por conta da inclusão do processo de cura das amostras para diferentes tempos.

3.1 MATERIAIS

Neste presente trabalho, foram utilizados dois materiais: um solo e um agregado reciclado de resíduos de construção e de demolição.

3.1.1 Agregado reciclado

O agregado reciclado (AR) que foi utilizado neste trabalho foi coletado na Usina de Reciclagem da Torre Empreendimentos. Esta usina, que fica localizada no município de Nossa Senhora do Socorro (Imagem 4), no estado de Sergipe, recebe os resíduos de construção civil de várias obras do estado e lá o material coletado passa por processos de triagem (Imagem 5) e depois fragmentação (Imagem 6), onde assim obtém-se agregados graúdos, miúdos e o pó de brita (Aragão Júnior, 2016).

Imagem 4 - Localização Usina da Torre Empreendimentos.



Fonte: Google Maps (2017), adaptado.

Imagem 5 - Etapa de triagem dos resíduos.



Fonte: Aragão Júnior (2015).

Imagem 6 - Fragmentação dos resíduos.



Fonte: Aragão Júnior (2015).

O agregado reciclado foi transportado em sacos de rafia e armazenado no laboratório de mecânica dos solos do Instituto Federal de Sergipe, campus Aracaju. Nesse laboratório, foram realizados os ensaios de caracterização física do agregado reciclado, onde se obteve as características apresentadas adiante.

A partir dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, verificou-se que o agregado reciclado é classificado como não plástico. Já no que diz respeito à massa específica dos grãos, obteve-se que para o caso do agregado reciclado o valor é de $2,688\text{g/cm}^3$.

No caso da curva granulométrica, o Gráfico 1 demonstra como se dá as características das partículas presentes no material. Através da análise do Gráfico 1 exposto adiante, é possível inferir que as amostras do agregado reciclado indicam que há presença de um material mais arenoso e com baixo teor de partículas finas como seja, silte e argila. Na amostra utilizada nos ensaios, constatou-se que no agregado reciclado há presença de 25,01% de pedregulho, 65,07% de areia, 5,87% de silte e 4,07% de argila.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado reciclado.



Fonte: Aragão Júnior (2016).

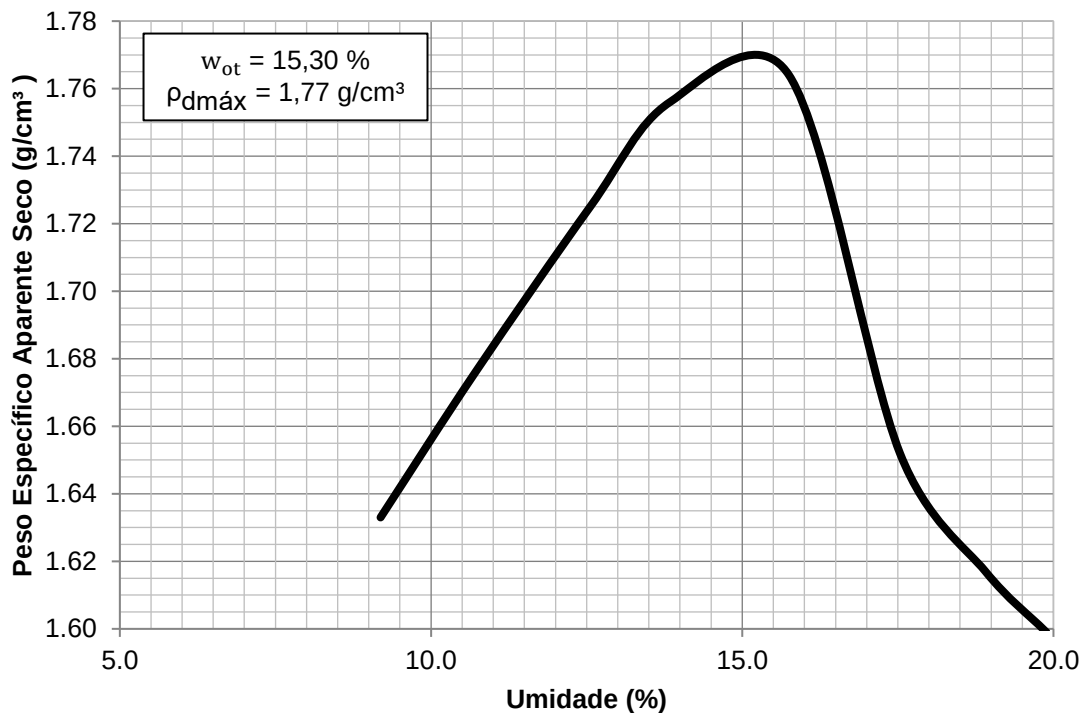
No que diz respeito à classificação do agregado reciclado, em relação à classificação normatizada pela NBR 6502/1995 – Terminologia – Rochas e solos, o agregado é definido como: areia siltosa com pedregulho e pouca argila.

Já em relação à classificação SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) ou USCS (*Unified Soil Classification System*), que leva em conta a distribuição e a forma da curva granulométrica, o limite de liquidez, o índice de plasticidade e a compressibilidade dos solos, o agregado reciclado foi classificado como: SM.

Outra classificação utilizada, a TRB ou antiga HRB (*Highway Research Bord*), que utiliza de informações acerca dos limites de Atterberg e na granulometria do material para classificar o material, o agregado reciclado recebeu uma denominação de A-2-4.

Através do Gráfico 2, é possível verificar a curva de compactação da amostra do agregado reciclado utilizado.

Gráfico 2 - Curva de compactação do agregado reciclado.



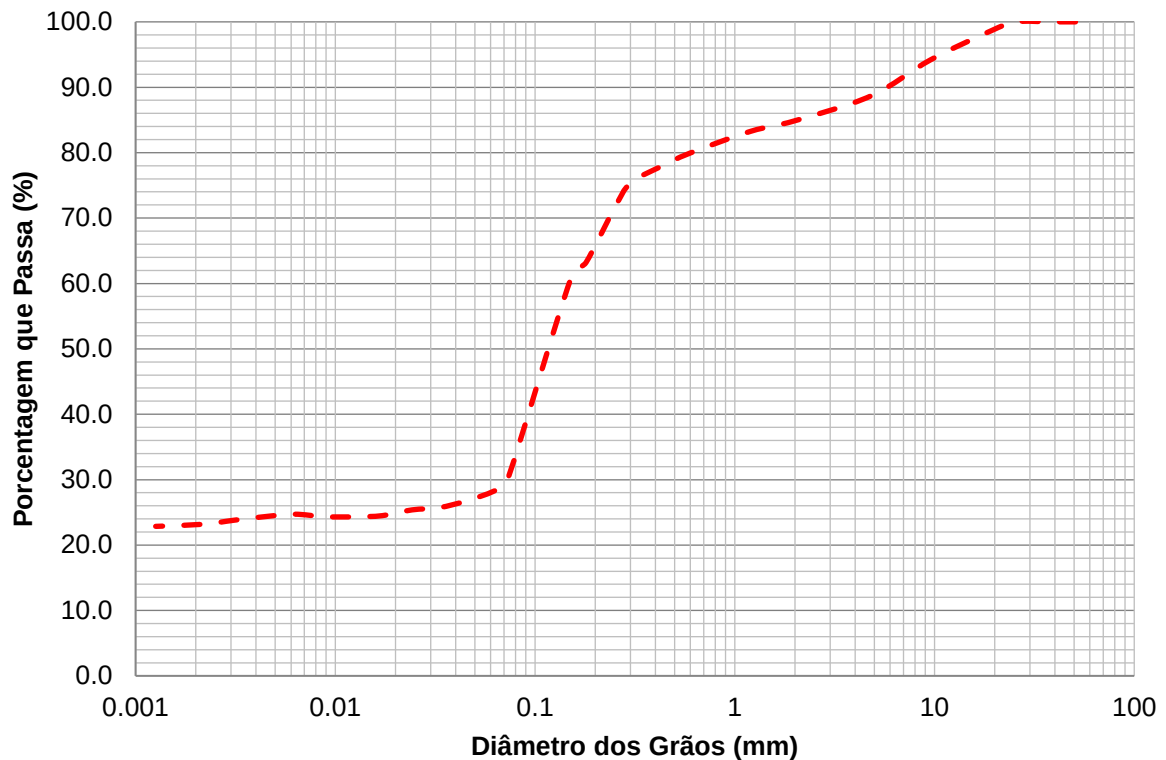
Fonte: Aragão Júnior (2016).

Analisando-se a curva do gráfico acima, foi possível obter os valores para a umidade ótima (w_{ot}), que foi de 15,30%; e do peso específico aparente seco máximo ($\rho_{dmáx}$) que é igual a 1,77 g/cm³.

3.1.2 Solo

Para o solo utilizado nesta pesquisa, foram retirados, aproximadamente, 250kg de material oriundo de uma jazida situada no bairro Santa Maria, no município de Aracaju, estado de Sergipe. Esta quantidade de solo também foi transportada em sacos de rafia e armazenado no Instituto Federal de Sergipe, campus Aracaju. Na

Gráfico 3 - Curva granulométrica do solo.



Fonte: Aragão Júnior (2016).

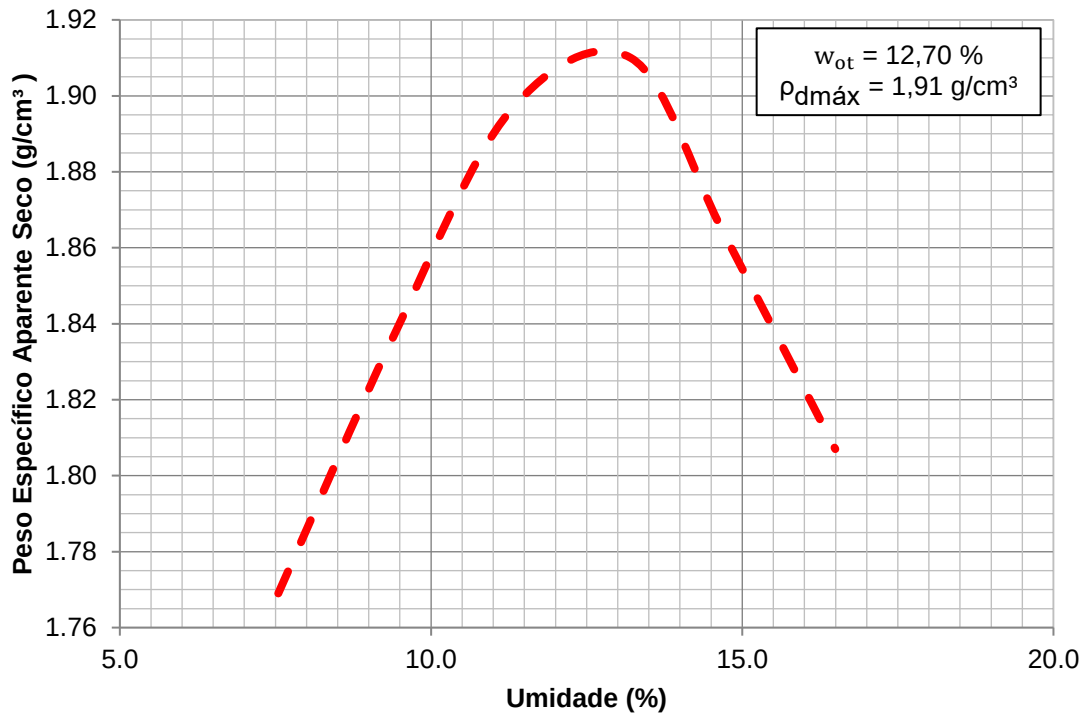
Por fim, pode-se dizer que o solo é constituído de 15,12% de pedregulho, 56,35% de areia, 5,34% de silte e 23,19% de argila.

A partir do ensaio dos limites de Atterberg, foi verificado que o solo possui um limite de liquidez de 22,7%, limite de plasticidade de 15,38% e índice de plasticidade de 7,32%, sendo, então, classificado como medianamente plástico. Já em relação à massa específica dos grãos, obteve-se o valor é de 2,673g/cm³.

Quanto à classificação, com base na ABNT NBR 6502/1995, o solo foi classificado como: areia argilosa com pedregulho e pouco silte. De acordo com a classificação TRB, foi classificado por A-2-4. Em relação à classificação SUCS, o solo recebeu a denominação SC.

Analisando-se a curva de compactação do solo (Gráfico 4), foi possível determinar os valores de 12,70% para a umidade ótima (w_{ot}); e de 1,91 g/cm³ como sendo o peso específico aparente seco máximo ($\rho_{dm\acute{a}x}$).

Gráfico 4 - Curva de compactação do solo.



Fonte: Aragão Júnior (2016).

3.2 MÉTODOS

Os materiais obtidos foram submetidos a ensaios no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Sergipe, campus Aracaju, com a finalidade de se obter a caracterização do solo, além de obter os parâmetros geotécnicos necessários para a confecção deste trabalho.

Como o presente trabalho vem a ser uma extensão da monografia de Aragão Júnior (2016), os parâmetros dos ensaios de caracterização física obtidos por ele, foram utilizados na presente pesquisa. Como parte suplementar ao trabalho de Aragão Júnior (2016), foi analisado a possível contribuição do procedimento de cura das amostras antes de se realizar o ensaio mecânico (compressão simples).

Dessa forma, assim como feito por Aragão Júnior (2016), foram preparadas misturas de solo e agregado reciclado em diferentes proporções para a confecção das amostras (Tabela 7), obedecendo-se aos critérios estabelecidos na NBR 6457 (ABNT, 1986).

Tabela 7 - Identificação das amostras e composição das misturas.

SIGLA	% EM PESO DE CADA MATERIAL	
	SOLO	AGREGADO RECICLADO
S	100	-
SAR15%	85	15
SAR30%	70	30
SAR45%	55	45
AR	-	100

Fonte: Aragão Júnior (2016).

3.2.1 Ensaios de Caracterização Física

Na etapa de caracterização física feita por Aragão Júnior (2016), os ensaios realizados obedeceram aos critérios das normas NBR 7181 (ABNT, 1984) para a análise granulométrica, NBR 6459 (ABNT, 1984) para o limite de liquidez, NBR 7180 (ABNT, 1984) para o limite de plasticidade, NBR 6508 (ABNT, 1984) para massa específica real dos grãos e NBR 7182 (ABNT, 1984) para a compactação.

3.2.2 Cura dos Corpos de Prova

Para realizar o procedimento de cura, cada corpo de prova, logo após ser moldado, era colocado em sacos plásticos devidamente vedados com auxílio de fita adesiva (Imagem 9). Logo após, o mesmo era acondicionado em caixas de poliestireno expansivo (mais conhecido como isopor). Ao todo foram utilizadas três caixas de isopor, onde cada caixa acomodava os corpos de prova em função do tempo de cura requerido. Neste caso, essas caixas foram etiquetadas em 7, 14 e 28, em que estes tais números representam, em dias, o tempo de cura ao qual as amostras deveriam passar. Na Imagem 10 é possível observar como eram acomodados os corpos de prova no interior da caixa de isopor, onde, posteriormente, a mesma receberia sua tampa com o intuito de ajudar ainda mais na manutenção da umidade dos corpos de prova, contribuindo com o procedimento de cura.

Imagem 9 – Visão geral do corpo de prova em processo de cura.



Fonte: O autor (2017)

Imagem 10 - Acomodação dos corpos de prova na caixa de isopor.



Fonte: O autor (2017).

3.2.3 Ensaio de Compressão Simples

A partir dos ensaios realizados por Aragão Júnior (2016) a respeito da compactação, foi possível utilizar destes dados para que se pudesse inferir acerca das

condições ótimas de compactação das amostras. Dessa forma, foi possível determinar a quantidade de material necessária para que fosse possível moldar o corpo de prova com as dimensões pré-definidas, onde essa quantidade de material era dividida em cinco partes iguais para que houvesse a compactação por camada (Aragão Júnior, 2016).

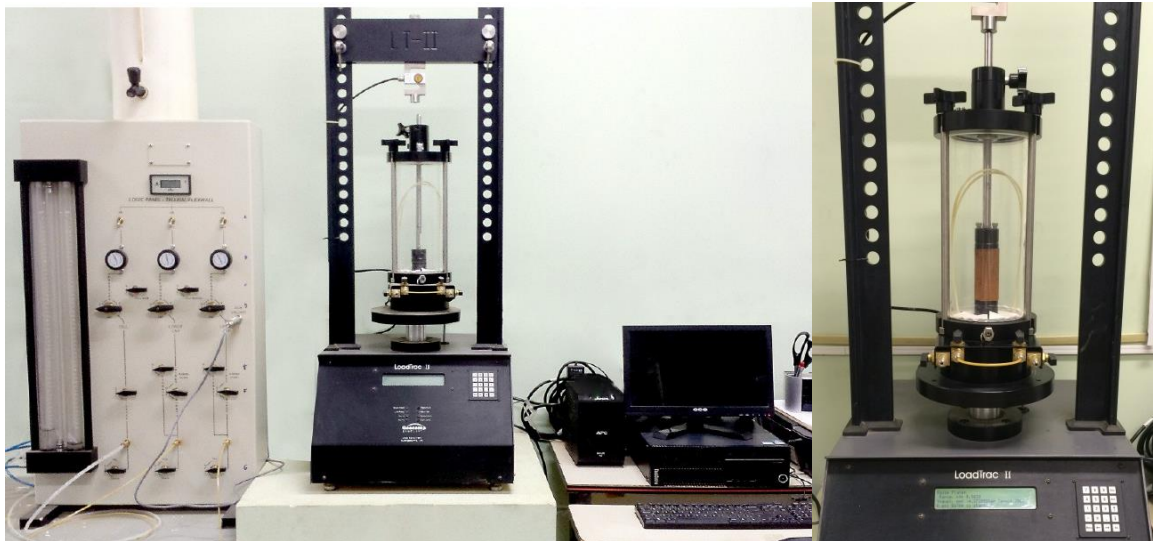
De posse da quantidade necessária de material por camada e da umidade ótima de compactação, iniciou-se o processo de moldagem dos corpos de prova utilizando-se a prensa ISC elétrica (Imagem 11). Nesse processo, além da prensa ISC, foram utilizados um pistão com demarcações graduadas acerca das camadas que seriam compactadas, e um cilindro metálico onde o material ficava confinado e ao receber os esforços de compressão, moldava a amostra de solo e agregado reciclado em um corpo de prova de formato cilíndrico com dimensões de 7cm de altura e 4 cm de diâmetro.

Imagem 11 - Processo de moldagem do corpo de prova na prensa ISC.



Fonte: O autor (2017).

Imagem 12 – Visão geral: da prensa triaxial e do ensaio em execução.



Fonte: O autor (2017).

Após moldagem do corpo de prova, o mesmo ainda passaria pelo processo de cura antes da execução dos ensaios de compressão simples. Dessa forma, cada corpo de prova precisou ser submetido ao processo de cura descrito anteriormente antes da ruptura na prensa triaxial (Imagem 12). É possível observar na Imagem 12 que o equipamento trata-se de uma prensa triaxial, porém, os ensaios eram de compressão simples, pois não havia a aplicação da pressão confinante, ou seja, mesmo o corpo-de-prova estando dentro da câmara, este era submetido somente a um carregamento axial, sem nenhum tipo de confinamento. Todo o ensaio era configura, monitorado e controlado via computador, mantendo-se uma taxa de deformação constante até que se atingisse o limite de ruptura ou então até que se alcançasse a deformação máxima limitada no ensaio.

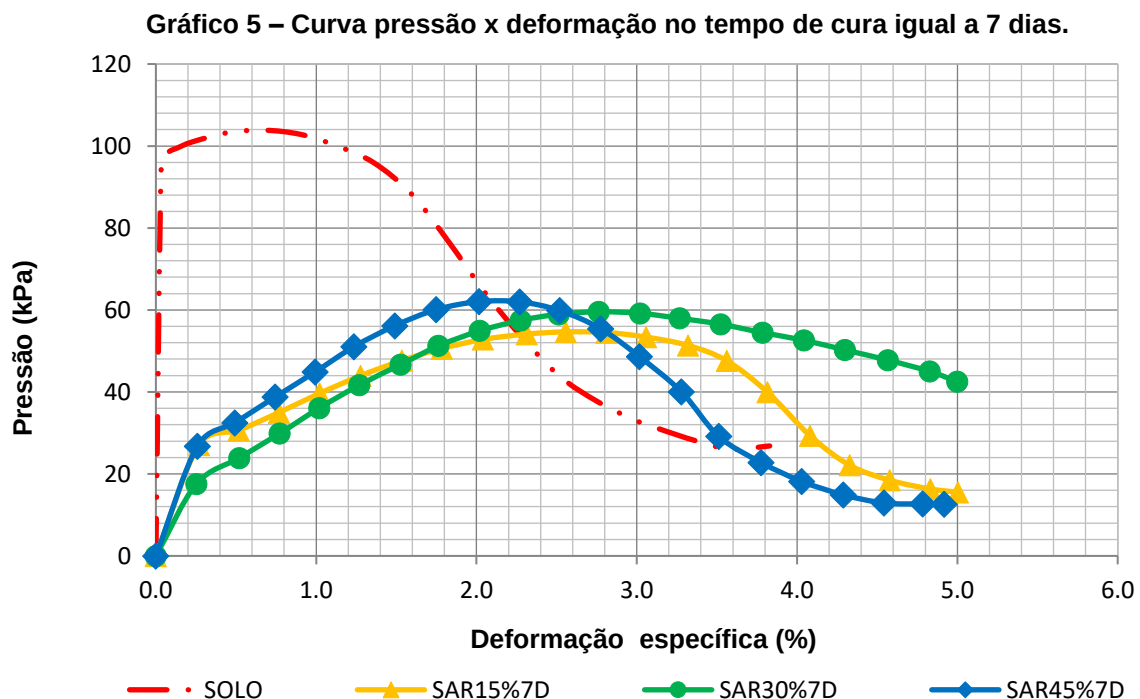
4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nessa seção estão expostos os resultados e análises obtidos a partir dos ensaios de compressão simples. De forma a tentar obter o máximo de informações possíveis sobre como se comportaria a resistência do corpo-de-prova, foi analisada, primeiramente, a influência da adição de agregado reciclado em cada tempo de cura, e depois como o tempo de cura pode determinar variações na resistência à compressão simples.

4.1 INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE AGREGADO RECICLADO CURADO

4.1.1 Amostras com 7 dias de cura

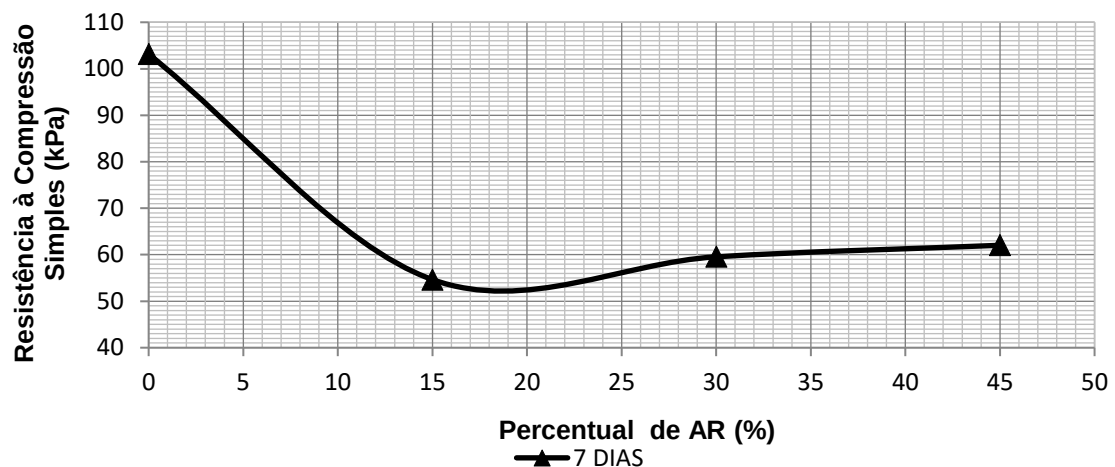
Passados os sete dias de cura dos corpos de prova, foi realizado o ensaio de compressão simples, onde os Gráficos 5, 6 e 7 ilustram os resultados obtidos.



Analisando o Gráfico 5, pode-se inferir que a partir da cura de sete dias, os valores da resistência à compressão simples tendem a diminuir quando comparados

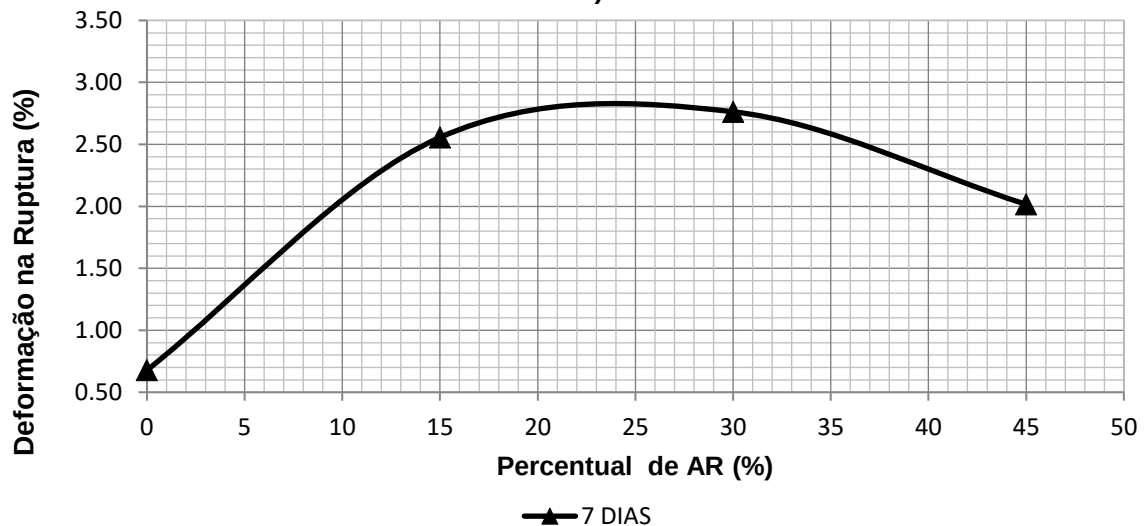
com a resistência do solo, qualquer que seja a porcentagem de mistura adotada. Contudo, verifica-se que para a mistura de 45% de agregado reciclado, obteve-se a melhor resistência à compressão simples ao se comparar com as misturas de 15% e 30%.

Gráfico 6 – Variação da resistência à compressão com a adição de agregado reciclado (cura em 7 dias).



Fonte: O autor (2017).

Gráfico 7 - Variação da deformação na ruptura com a adição de agregado reciclado (cura em 7 dias).



Fonte: O autor (2017).

No caso do Gráfico 6, está exposto que houve um aumento no valor da resistência à compressão simples a medida que se usou mais agregado reciclado na mistura, onde o crescimento mais significativo é verificado quando comparados as misturas de 15% e 30%, em que se dobra a quantidade de agregado reciclado adicionado a mistura.

No Gráfico 7, observa-se que para a mistura de 30%, houve a maior deformação na ruptura, em que o valor chegou a ser de 2,763%; enquanto para a de 45%, obteve-se a menor.

A Tabela 8 resume os resultados dos ensaios no tempo de cura de 7 dias, apresentando os valores de resistência à compressão simples e a deformação na ruptura de cada amostra.

Tabela 8 - Resistência e deformação para o tempo de cura igual a 7 dias.

AMOSTRA	PERCENTUAL DE AGREGADO RECICLADO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (KPa)	DEFORMAÇÃO NA RUPTURA (%)
SOLO	0	103.14	0.678
SAR15%	15%	54.65	2.556
SAR30%	30%	59.55	2.763
SAR45%	45%	62.03	2.016

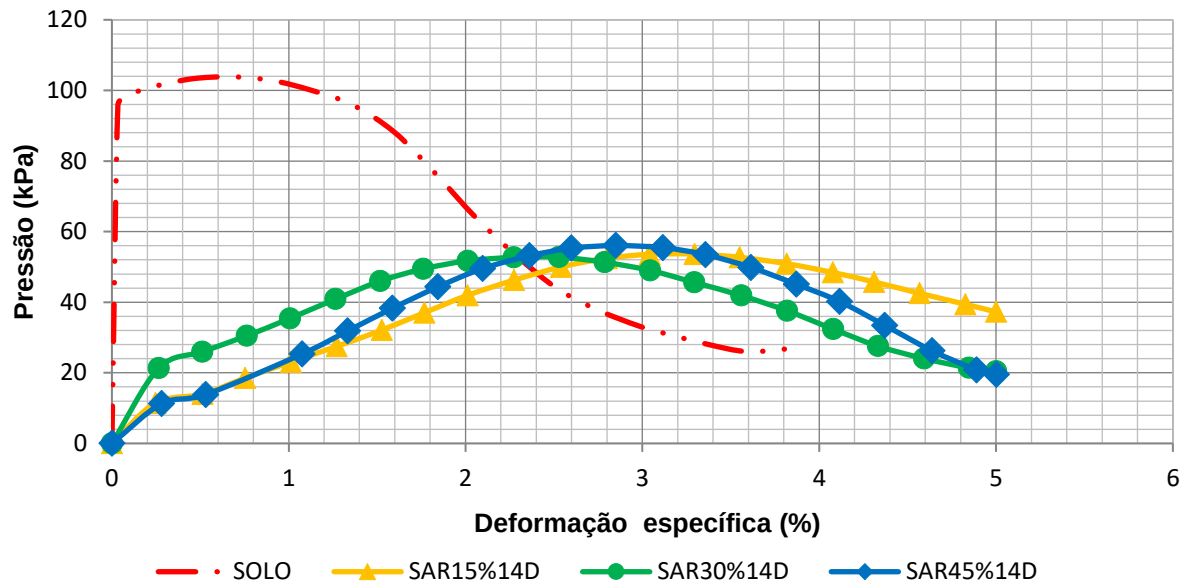
Fonte: O autor (2017).

4.1.2 Amostras com 14 dias de cura

Ao fim dos quatorze dias de cura dos corpos de prova, procedeu-se com o ensaio de compressão simples. Os Gráficos 8, 9 e 10 expõem os resultados obtidos.

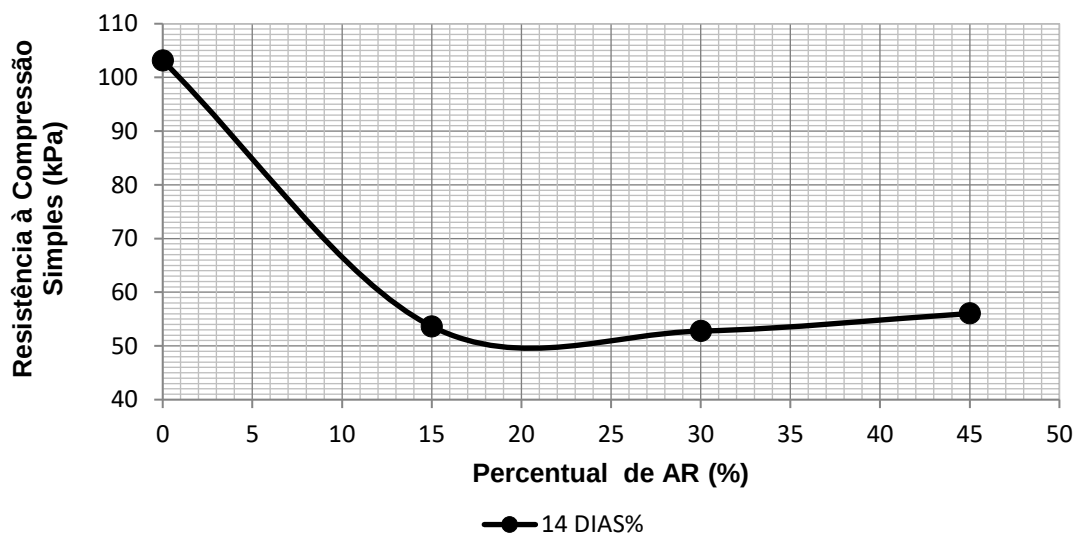
Assim como para o tempo de sete dias, ao analisar o Gráfico 8, conclui-se que, após 14 dias de cura todas as misturas apresentaram tensão de ruptura inferiores à tensão de ruptura do solo, como também maiores deformações na ruptura. Novamente tem-se que a mistura com 45% de agregado reciclado obteve maior valor absoluto de resistência à compressão.

Gráfico 8 - Curva pressão x deformação no tempo de cura igual a 14 dias.



Fonte: O autor (2017).

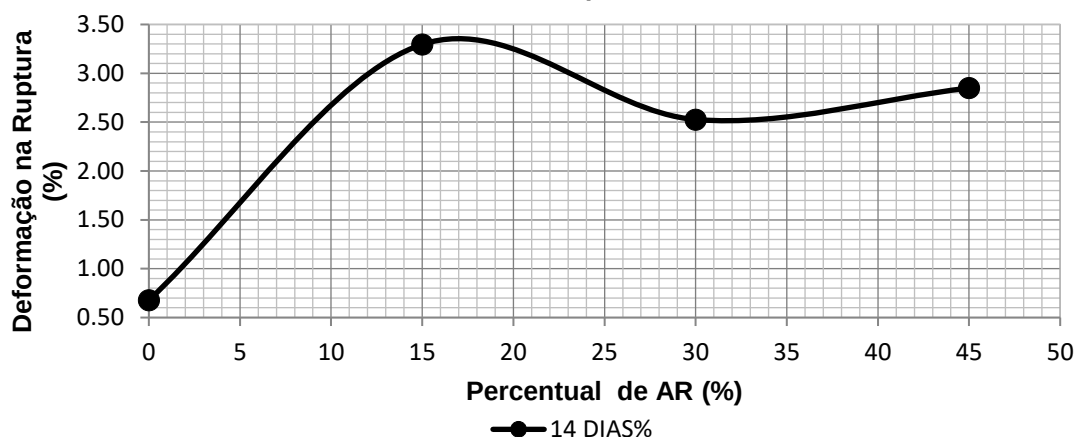
Gráfico 9 - Variação da resistência à compressão com a adição de agregado reciclado (cura em 14 dias).



Fonte: O autor (2017).

Analisando-se o Gráfico 9, é possível confirmar que a adição de agregado reciclado e a posterior cura aos 14 dias, acarretam em queda da resistência compressão simples, quando comparado com o valor de resistência do solo.

Gráfico 10 - Variação da deformação na ruptura com a adição de agregado reciclado (cura em 14 dias).



Fonte: O autor (2017).

Em relação à deformação na ruptura, o Gráfico 10 indica que a adição de agregado reciclado e a posterior cura aos 14 dias, provocam uma elevação da deformação na ruptura. É possível constatar também que o corpo de prova que continha 15% de sua massa composta por agregado reciclado, obteve a maior deformação na ruptura.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios no tempo de cura de 14 dias, indicando os valores de resistência à compressão simples e a deformação na ruptura de cada amostra.

Tabela 9 - Resistência e deformação para o tempo de cura igual a 14 dias.

AMOSTRA	PERCENTUAL DE AGREGADO RECICLADO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (KPa)	DEFORMAÇÃO NA RUPTURA (%)
SOLO	0	103.14	0.678
SAR15%	15%	53.64	3.296
SAR30%	30%	52.77	2.527
SAR45%	45%	56.04	2.849

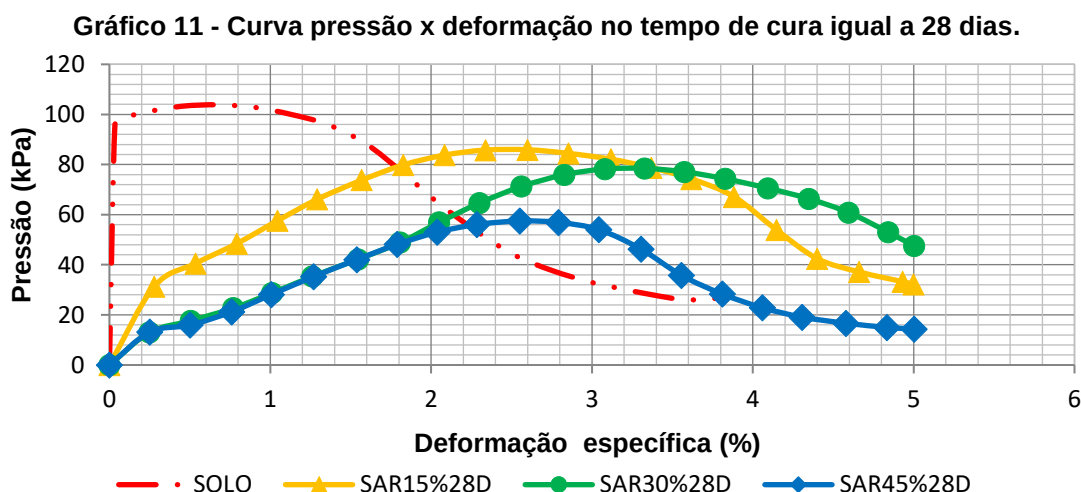
Fonte: O autor (2017).

4.1.3 Amostras com 28 dias de cura

Após os 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos à compressão simples, sendo os resultados apresentados no Gráfico 11.

Com base nos resultados apresentados no Gráfico 11, ficou constatado que, com relação à resistência à compressão, à medida que se eleva o teor de agregado reciclado na mistura, há uma queda na pressão de ruptura. Este comportamento é apresentado no Gráfico 12.

Em relação à deformação na ruptura, observa-se pelo Gráfico 13 que até a adição de 30% de AR o material fica mais deformável, porém, ao atingir o teor de 45% de AR a deformação na ruptura passa a atingir valor menor que o das misturas com menos teor de AR (15% e 30%).

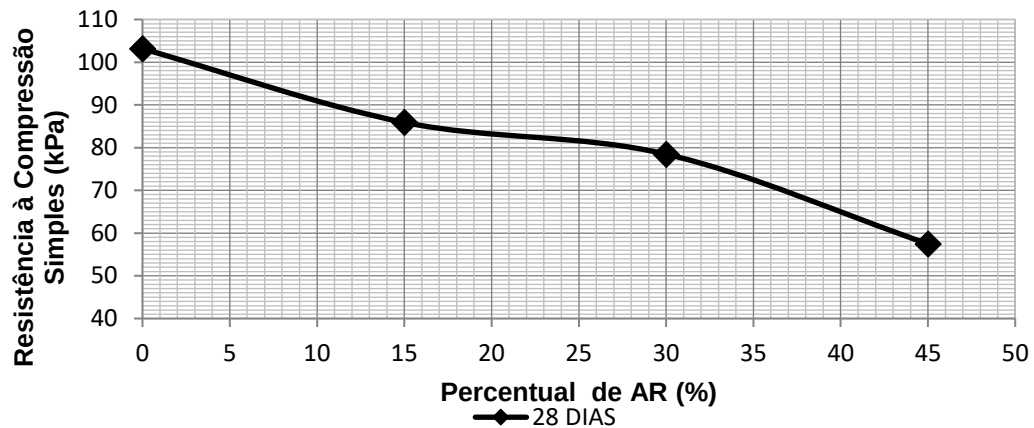


Fonte: O autor (2017).

De forma a explicitar o que fora comentado anteriormente, o Gráfico 12 mostra que houve uma queda quase linear na resistência à compressão simples à medida que era adicionado agregado reciclado na mistura.

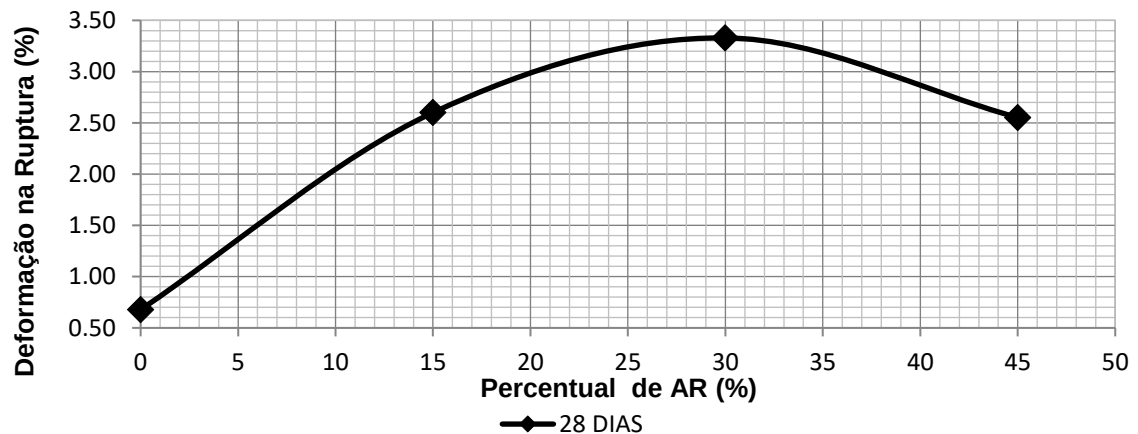
No Gráfico 13, verifica-se que a amostra que continha 30% de agregado obteve a maior deformação, seguida pela amostra de 15% e 45%, respectivamente. A Tabela 10 organiza os valores obtidos nos gráficos anteriores.

Gráfico 12 - Variação da resistência à compressão com a adição de agregado reciclado (cura em 28 dias).



Fonte: O autor (2017).

Gráfico 13 - Variação da deformação na ruptura com a adição de agregado reciclado (cura em 28 dias).



Fonte: O autor (2017).

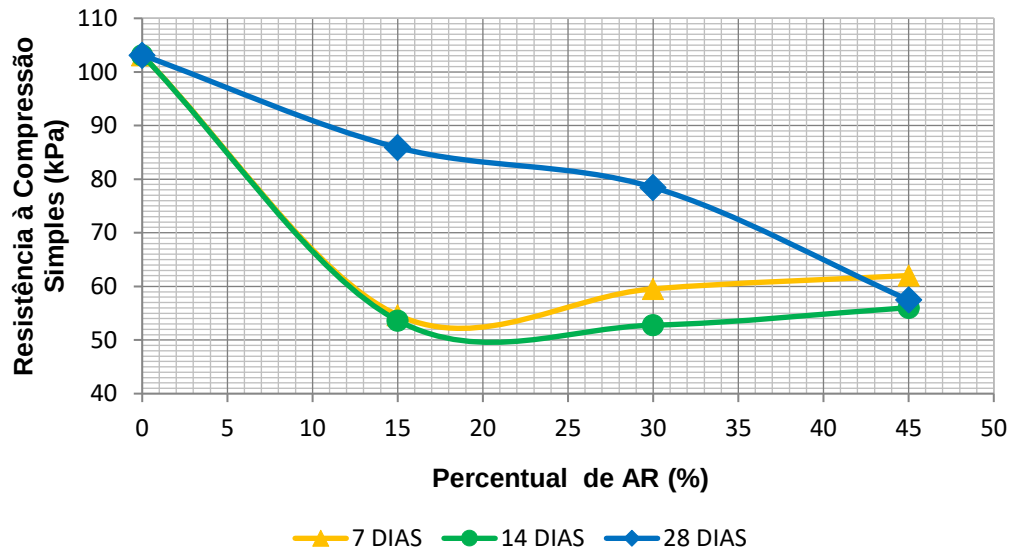
Tabela 10 - Resistência e deformação para o tempo de cura igual a 28 dias.

AMOSTRA	PERCENTUAL DE AGREGADO RECICLADO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (KPa)	DEFORMAÇÃO NA RUPTURA (%)
SOLO	0	103.14	0.678
SAR15%	15%	85.9	2.6
SAR30%	30%	78.47	3.329
SAR45%	45%	57.48	2.552

Fonte: O autor (2017).

Os Gráficos 14 e 15 ilustram um resumo dos resultados dos ensaios de compressão simples, ao analisar a influência da adição do agregado reciclado nas misturas solo-agregado.

Gráfico 14 – Variação da resistência com a adição de agregado reciclado aos 7, 14 e 28 dias de cura.

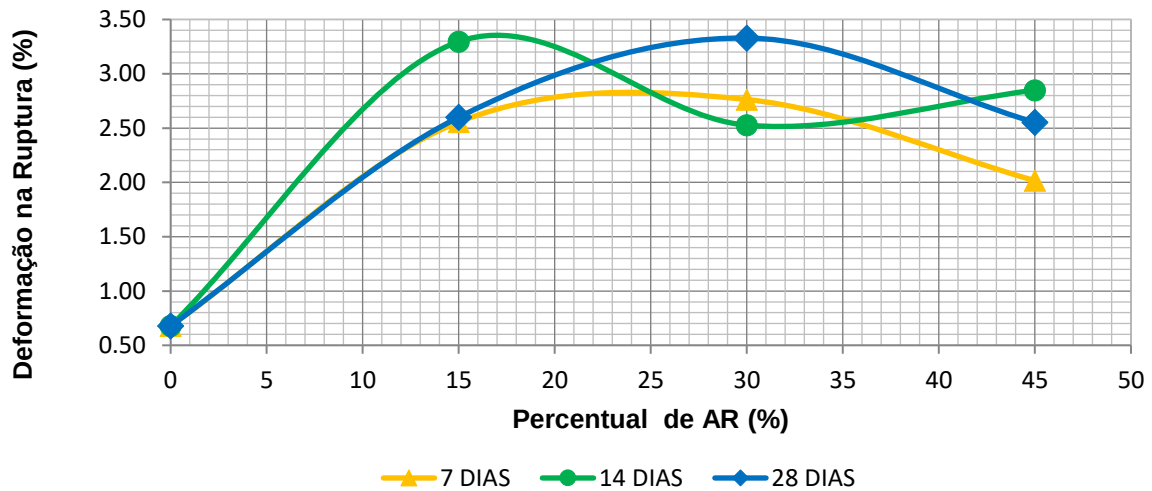


Fonte: O autor (2017).

Analisando o Gráfico 14 fica claro que as amostras possuem um comportamento diferente para cada tempo de cura, porém sempre haverá uma queda da resistência quando comparado ao solo natural. As amostras que passaram por cura de vinte e oito dias tiveram uma queda nos seus valores de resistência à compressão simples. Tal fato não ocorreu para os outros dois tempos, em que houve um pequeno crescimento à medida que foi aumentada a porcentagem de AR de 15% para 45%.

O Gráfico 15 mostra que as maiores deformações que ocorreram nas amostras de 30%, quando o tempo de cura foi de 7 e 28 dias. Em relação ao tempo de cura de 14 dias, a maior deformação ocorreu quando a mistura continha 15% de AR.

Gráfico 15 - Variação da deformação com a adição de agregado reciclado aos 7, 14 e 28 dias de cura.



Fonte: O autor (2017).

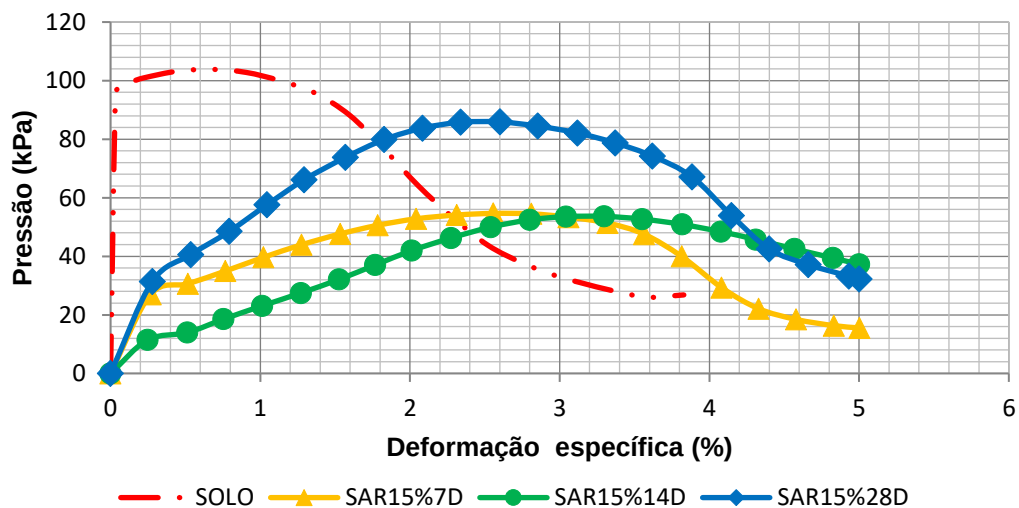
4.2 INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA

4.2.1 Amostras contendo 15% de agregado reciclado

Os Gráficos 16, 17 e 18 expõem o comportamento das amostras de 15% de agregado reciclado em relação aos tempos de cura de 7, 14 e 28 dias.

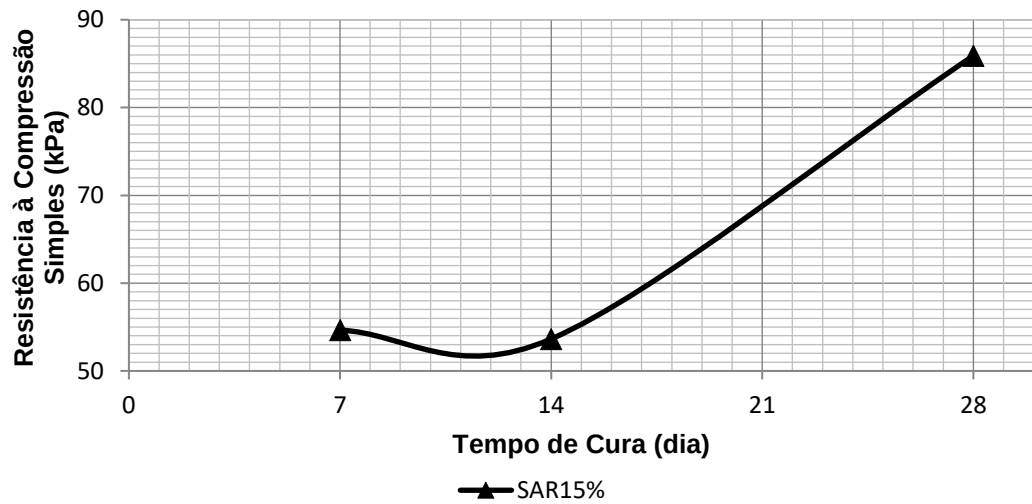
Analisando o Gráfico 16, é possível inferir que, para todos os corpos de prova constituídos de 15% de AR em sua massa, o tempo de cura de vinte e oito dias resultou em uma melhor resistência em relação às amostras que passaram sete e quatorze dias curando.

Gráfico 16 - Curva pressão x deformação das amostras com 15% de AR.



Fonte: O autor (2017).

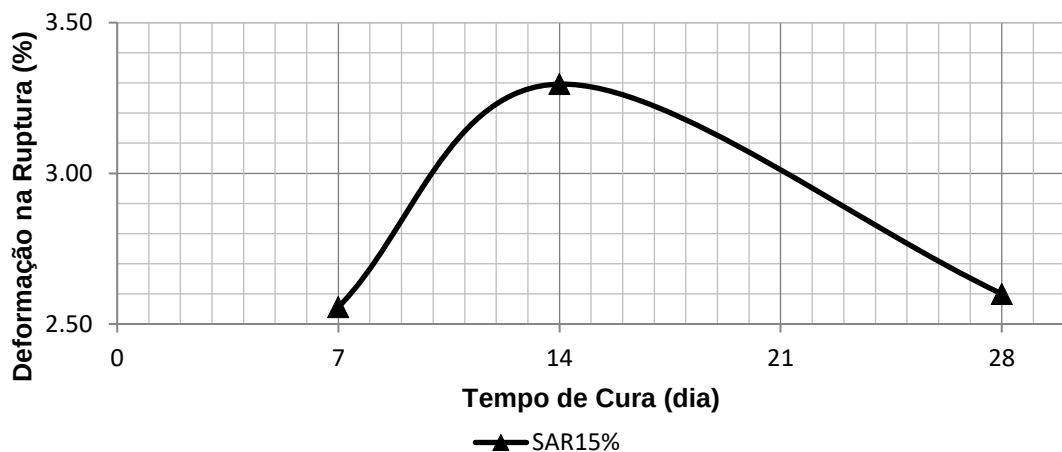
Gráfico 17 - Variação da resistência à compressão com o tempo de cura para amostras com 15% de AR.



Fonte: O autor (2017).

O Gráfico 17 vem evidenciar como houve um aumento significativo da resistência das amostras de 15% de AR para vinte e oito dias de cura, ainda que tenha ocorrido uma pequena queda de resistência ao comparar corpos de prova de sete dias de cura com os de quatorze dias.

Gráfico 18 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para amostras com 15% de AR.



Fonte: O autor (2017).

Em relação ao Gráfico 18, é possível constatar que a amostra que passou quatorze dias no processo de cura obteve maior deformação na ruptura, chegando ao

valor de 3,296%, porém, ao atingir o tempo de cura de 28 dias a deformação na ruptura passa para valor próximo ao tempo de cura de 7 dias.

Na Tabela 11 estão expostos os valores da resistência à compressão simples e da deformação de ruptura.

Tabela 11 - Resistência e deformação para as amostras com 15% de AR.

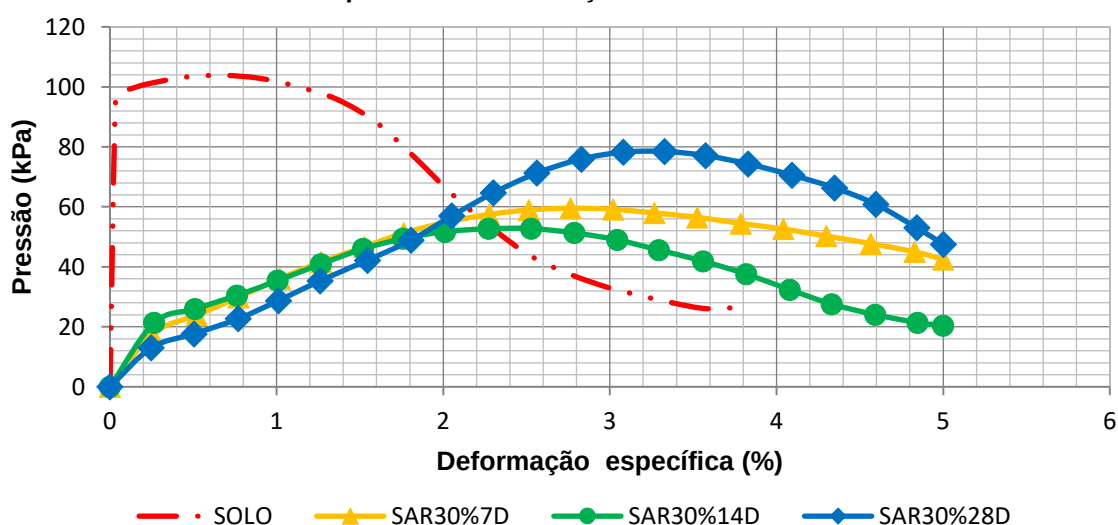
AMOSTRA	PERCENTUAL DE AGREGADO RECICLADO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (KPa)	DEFORMAÇÃO NA RUPTURA (%)
SAR15%7D	15%	54.65	3.296
SAR15%14D	15%	53.64	2.6
SAR15%28D	15%	85.9	2.556

Fonte: O autor (2017).

4.2.2 Amostras contendo 30% de agregado reciclado

Os resultados dos ensaios de compressão simples para as amostras com 30% de AR, nos tempos de cura de 7, 14 e 28 dias são apresentados nos Gráficos 19, 20 e 21.

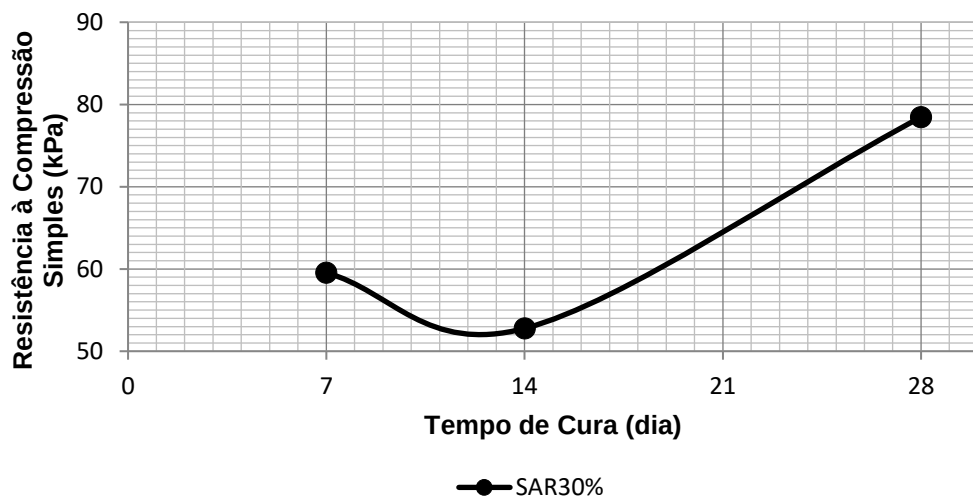
Gráfico 19 - Curva pressão x deformação das amostras com 30% de AR.



Fonte: O autor (2017).

Com base nos resultados do Gráfico 19, verifica-se que o tempo de cura igual a vinte e oito dias conferiu maior resistência para as amostras de 30% de AR. Dessa forma, assim como ocorreu com as amostras de 15%, o tempo de cura maior contribuiu para o aumento da resistência à compressão simples, porém para este teor de mistura houve uma elevação da deformação na ruptura para o maior tempo de cura.

Gráfico 20 - Variação da resistência à compressão com o tempo de cura para amostras com 30% de AR.

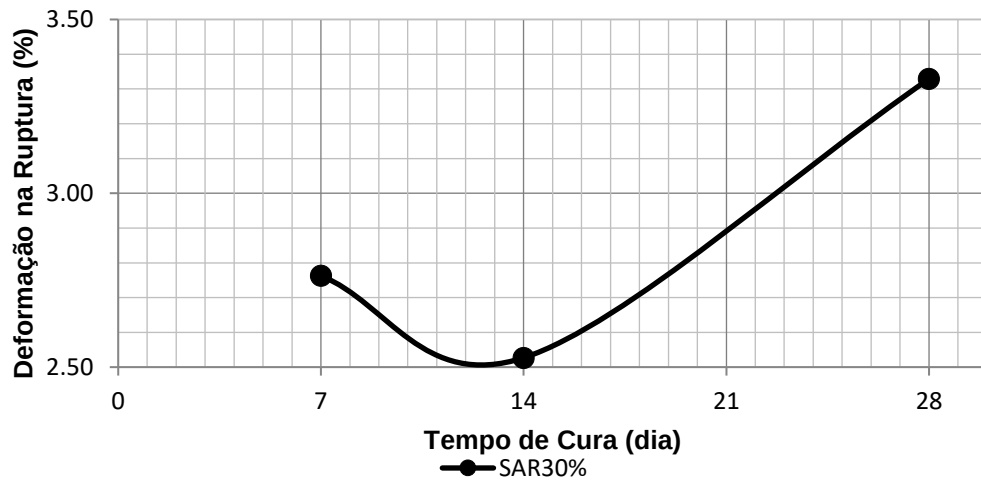


Fonte: O autor (2017).

O Gráfico 20 deixa claro que, mesmo havendo uma queda na resistência ao atingir o tempo de cura de 14 dias, para o maior tempo de cura (28 dias) há uma elevação no valor da resistência à compressão.

Em relação às deformações na ruptura, o Gráfico 21 ilustra o mesmo comportamento que o apresentado anteriormente com a resistência, ou seja, as deformações na ruptura passam a atingir valores menores aos 14 dias, porém aos 28 dias o material passa a deformar mais no instante de ruptura, atingindo valor de deformação igual a 3,329%.

Gráfico 21 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para amostras com 30% de AR.



Fonte: O autor (2017).

Para melhor expor as informações apresentadas nos Gráficos 20 e 21, é apresentado na Tabela 12 um resumo dos ensaios de compressão nas amostras com 30% de AR.

Tabela 12 - Resistência e deformação para as amostras com 30% de AR.

AMOSTRA	PERCENTUAL DE AGREGADO RECICLADO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (KPa)	DEFORMAÇÃO DE RUPTURA (%)
SAR30%7D	30%	59.55	2.763
SAR30%14D	30%	52.77	2.527
SAR30%28D	30%	78.47	3.329

Fonte: O autor (2017).

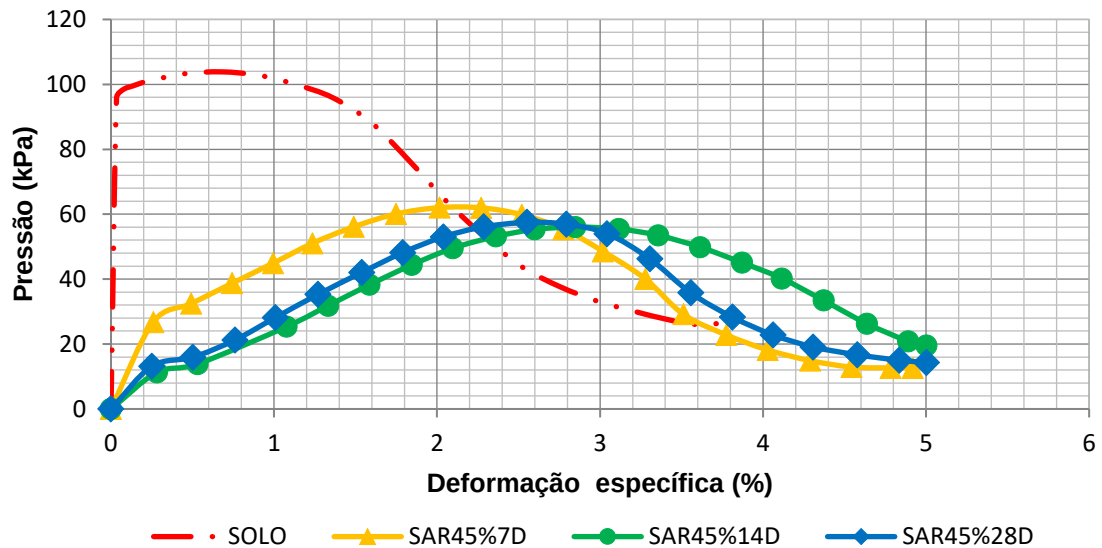
4.2.3 Amostras contendo 45% de agregado reciclado

Para as amostras com 45% de AR, as curvas dos Gráficos 22, 23 e 24 expõem os resultados obtidos a partir dos ensaios de compressão simples.

Pelo Gráfico 22 fica claro que quanto menor for o tempo de cura, melhores serão os resultados para a resistência à compressão simples. Tal fato faz com que a mistura

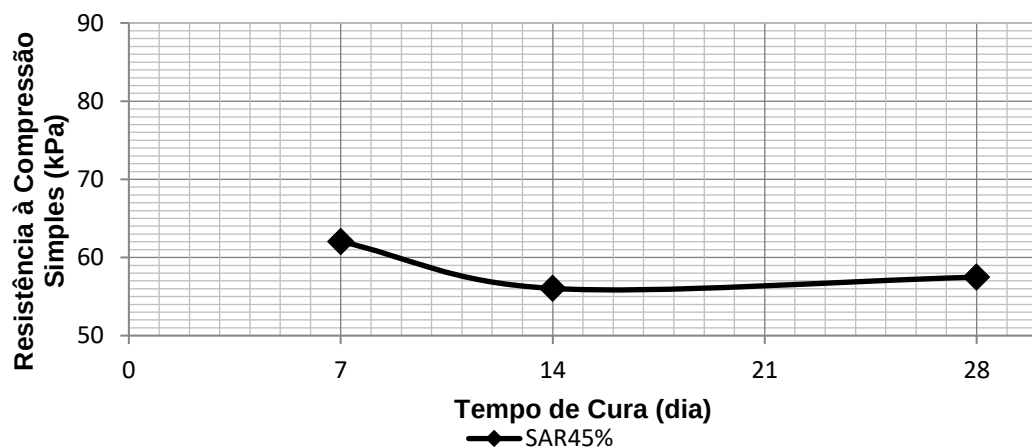
de 45% tenha maior valor de resistência à compressão para a situação de tempo de cura igual a sete dias.

Gráfico 22 - Curva pressão x deformação das amostras com 45% de AR.



Fonte: O autor (2017).

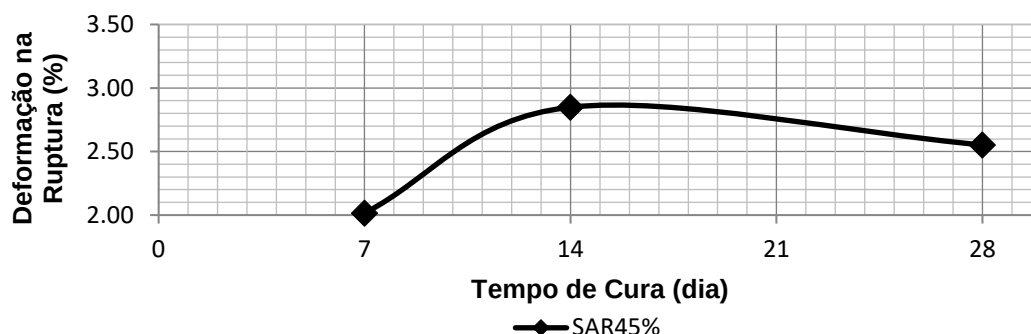
Gráfico 23 - Variação da resistência à compressão com o tempo de cura para amostras com 45% de AR.



Fonte: O autor (2017).

No Gráfico 23 é possível verificar que com o aumento do tempo de cura, a resistência à compressão simples tende a diminuir quando a concentração de agregado reciclado contida na mistura é de 45%. No que diz respeito a deformação na ruptura, o maior valor foi verificado quando o tempo de cura das amostras era de quatorze dias (Gráfico 24).

Gráfico 24 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para amostras com 45% de AR.



Fonte: O autor (2017).

A Tabela 13 apresenta um resumo dos resultados dos ensaios de compressão simples nas amostras com 45% de AR, para os três tempos de cura.

Tabela 13 - Resistência e deformação para as amostras com 45% de AR.

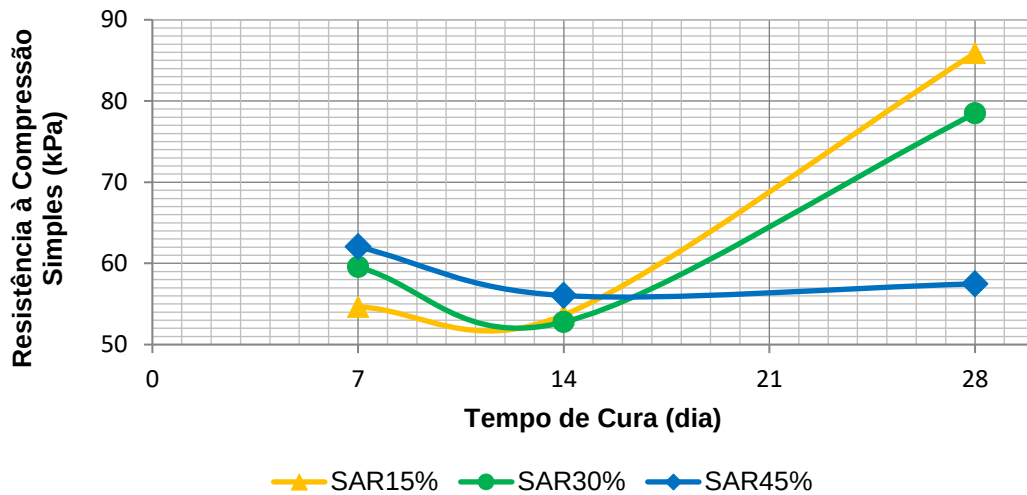
AMOSTRA	PERCENTUAL DE AGREGADO RECICLADO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES (KPa)	DEFORMAÇÃO DE RUPTURA (%)
SAR45%7D	45%	62.03	2.016
SAR45%14D	45%	56.04	2.849
SAR45%28D	45%	57.48	2.552

Fonte: O autor (2017).

Os Gráficos 25 e 26 ilustram um resumo dos resultados dos ensaios de compressão simples, ao analisar a influência do tempo de cura nas misturas solo-agregado.

De acordo com o Gráfico 25, é possível observar que o tempo de cura de vinte e oito dias favoreceu o aumento da resistência à compressão simples para as misturas de 15% e 30%, ao passo que diminuiu a resistência das amostras de 45% de AR.

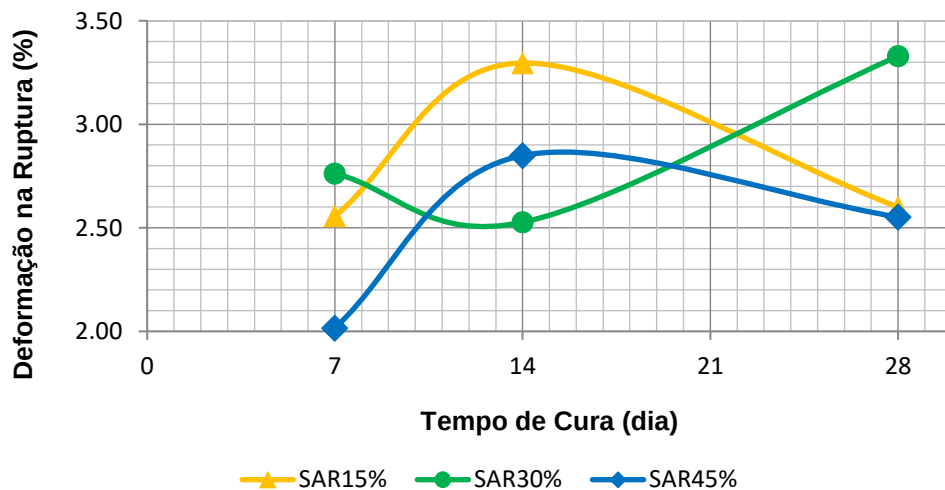
Gráfico 25 - Variação da resistência com o tempo de cura para as misturas de 15%, 30% e 45%.



Fonte: O autor (2017).

O gráfico 26 exibe que o tempo de cura de quatorze dias definiu como sendo os maiores valores de deformação na ruptura para as amostras de 15% e 45%. Nesse mesmo tempo, verifica-se que houve a menor deformação na amostra contendo 30% de AR.

Gráfico 26 - Variação da deformação na ruptura com o tempo de cura para as misturas de 15%, 30% e 45%.



Fonte: O autor (2017).

5 CONCLUSÕES

Levando-se em conta que este trabalho foi uma das sugestões de futuras pesquisas propostas no trabalho de Aragão Júnior (2016), alguns dos dados que foram utilizados aqui já haviam sido investigados pelo autor citado. Tais dados eram relativos aos ensaios de caracterização física do solo, do agregado reciclado e das misturas de 15%, 30% e 45%. Portanto, o propósito deste trabalho foi a investigação de como diferentes tempos de cura poderiam influenciar a resistência à compressão simples das misturas solo e agregado reciclado.

Como uma forma de melhor entender a contribuição do procedimento de cura adotado, foram feitas duas investigações separadamente, visando uma melhor análise. No primeiro caso, foi investigado o comportamento das amostras de 15%, 30% e 45% de agregado reciclado em cada tempo de cura. Já a segunda análise foi feita ao verificar o efeito do tempo de cura de 7, 14 e 28 dias em cada mistura.

Após essas duas análises, conclui-se que ao aumentar a porcentagem de agregado reciclado para 45%, ocorre uma queda da deformação na ruptura e da resistência à compressão simples à medida em que o tempo de cura varia de 7 a 28 dias. Tal fato, também foi comprovado por Aragão Júnior e Guedes (2016), quando os autores, ao também obterem baixo valor de resistência da amostra de 45%, determinaram que isto foi causado pelo aumento do teor de areia na mistura. Como o ensaio de compressão realizado neste trabalho não era com confinamento, a tendência era do corpo de prova, agora com menor teor de argila, perder a compacidade e, conseqüentemente, diminuir a resistência. Aliado a isso, tem-se o efeito do controle da umidade no processo de cura, onde mesmo utilizando sacos plásticos devidamente fechados e a caixa térmica para acondicionamento, pequena parte da umidade acabou sendo perdida no decorrer do processo, o que configurou essa queda de resistência ao passo em que aumentava o tempo de cura.

Entretanto, nas amostras de 15% e 30 %, que continham menores quantidades de agregado reciclado, tal ocorrência de diminuição de resistência à compressão simples não foi verificada. Na verdade, houve um aumento à medida que o tempo de cura passou de 7 para 28 dias, devido à uma concentração mais baixa de material arenoso na mistura. Assim, foi verificado que o melhor comportamento em relação a

resistência à compressão simples ocorreu para a mistura de 15% de agregado reciclado com o valor de 85,9 KPa para tempo de cura de 28 dias.

Ainda assim, os valores obtidos da resistência à compressão simples a partir da cura dos corpos de prova continuam sendo menores do que os valores dos mesmos corpos de prova não curados, obtidos por Aragão Júnior (2016). Portanto, torna-se necessário que seja verificada a resistência à compressão das amostras na célula triaxial, com confinamento, para melhor entender se o procedimento de cura tende a ser positivo ou não no processo de melhoramento do solo.

Outro importante ponto a ser analisado seria a rastreabilidade do agregado reciclado. Não há como afirmar, com convicção, quais são os materiais constituintes deste material, visto que no material coletado existe a possibilidade de existirem restos de gesso, areia, ou até mesmo matéria orgânica, que poderiam interferir negativamente no processo de estabilização do solo ao qual pretende-se alcançar utilizando-se de misturas solo e agregado reciclado.

6 SUGESTÕES

No processo de realização deste trabalho foram surgindo alguns pontos que poderiam ser explorados futuramente através de novas pesquisas. Algum desses temas propostos seriam:

- a) A realização da mesma campanha de ensaios, só que agora adicionando porcentagens de cimento Portland às misturas;
- b) A realização da mesma campanha de ensaios, utilizando do procedimento de cura prescrito na NBR 12024/1992;
- c) A realização da mesma campanha de ensaios, utilizando tempos de cura acima de 28 dias;
- d) Em virtude dessas misturas conterem quantidades de resíduos de construção civil, sugere-se verificar possíveis contaminação de lençol freático devido a percolação da água nas misturas;
- e) A realização de outros ensaios de resistência, principalmente o ensaio de compressão triaxial a fim de obter dados mais concisos acerca da contribuição ou não do processo de cura.

REFERÊNCIAS

ABRECON, Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **O entulho**. 2017. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/>>. Acessado em 26 de maio de 2017.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, ABRELPE, 2014.

AECWEB. **Os verdadeiros impactos da construção civil**. Revista digital, conexão AEC, 2010. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/n/os-verdadeiros-impactos-da-construcao-civil_2206>. Acessado em 18 de maio de 2017.

ALMEIDA, G. B. de O *et al.* **Avaliação da Resistência à Compressão Simples de Misturas de Solo e Escória de Cobre Aditivadas com Cimento Portland Aplicadas à Pavimentação**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, MG, 2016.

ANDREOLI, C. V. et al. **Resíduos sólidos: origem, classificação e soluções para a destinação final adequada**. Complexidade: Redes e Conexões do Ser Sustentável. 1ªed., 2014.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S. E. ; JOHN, V. M. . **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil**. IV Seminário Desenvolvimento sustentável a reciclagem na construção - práticas recomendadas, São Paulo, 2001.

ARAGÃO JÚNIOR, W. R. **Análise do comportamento de misturas de solo e de agregados reciclados para uso em aterros no estado de Sergipe**. 77 páginas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2016.

ARAGÃO JÚNIOR, W. R. **Análise do uso de um agregado reciclado em camadas de pavimentação**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2015.

ARAGÃO JÚNIOR, W. R; GUEDES, E. S. R. **Estudo do Comportamento de Misturas de Solo e Agregado de Resíduos Sólidos da Construção Civil em Sergipe**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2016, Belo Horizonte.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 6459:** solo: determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 6502:** rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 6508:** grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm: determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7180:** solo: determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7181:** solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 7182:** solo: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 10004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12024:** Solo-cimento - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12654:** Controle tecnológico de materiais componentes do concreto. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 14931:** Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15112:** resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15113:** resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15114:** resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Área de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15115:** agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15116:** agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, G. S. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Revista Visões 4. ed., v. 1. Rio de Janeiro, 2008.

BERNARDES A. *et al.* **Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, 2008.

BICA, B. O *et al.* **Influência da Umidade e Energia de Compactação na Resistência à Compressão de um Solo Laterítico com Adição de Cimento (Solo-Cimento)**. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, MG, 2016.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, **Diário Oficial da União**, de 3 de agosto de 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil, **Diário Oficial da União**, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.

BRASILEIRO, L. L. e MATOS, J. M. E. **Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, 2015.

BROSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H.; VAN KESSEL, R. A. **Financial consequences of construction waste**. In: CIB W 89 Beijing international conference. Beijing 1996.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. Humanitas editora, Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 4. ed. São Paulo, 2003.

CAMPOS, I. M. **Solo-cimento, solução para economia e sustentabilidade**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. Fórum da construção, 2012.

CASSA, José Clodoaldo S. *et al.* **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.

CRISTELO, N. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Lisboa, 2001.

DALTRO FILHO, J. *et al.* **Avaliação da composição e quantidade dos resíduos sólidos da construção civil de Aracaju-Sergipe-Brasil**. VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT 143: Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010.

EPA, Environmental Protection Agency. **Building-related, construction and demolition materials amounts.** Estados Unidos, 2003.

EPA, Environmental Protection Agency. **Characterization of building-related construction and demolition debris in the united states.** Estados Unidos, 1998.

FRANÇA, F. C. **Estabilização química de solos para fins rodoviários: estudo de caso com o produto “RBI Grade 81”.** Universidade Federal de Viçosa, MG, 2003.

GOOGLE MAPS. **Localização da jazida do solo.** Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-10.9951519,-37.1123388,15.03z?hl=en>>. Acessado em 22 de maio de 2017. Aracaju, 2017.

GOOGLE MAPS. **Localização usina da Torre empreendimentos.** Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-10.8691586,-37.1373806,16.59z?hl=en>>. Acessado em 22 de maio de 2017. Aracaju, 2017.

GRANDO, L. *et al.* **Determinação da Influência da Incorporação do Pó de Pedra em Mistura de Solo-Cimento.** XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, MG, 2016.

HALMEMAN, M.C.R.; SOUZA, P.C; CASARIN, A.N. (2009). **Caracterização dos resíduos de construção e demolição na unidade de recebimento de resíduos sólidos no município de Campo Mourão – PR.** Revista Tecnológica, Edição especial ENTECA, 2009.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de construção civil. São Paulo, 2000.

JOHN, V. M. e ANGULO, S. C. . **Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos.** Utilização de resíduos na construção habitacional. Porto Alegre: ANTAC, v. 4, p. 4-272, 2003.

LEVY, S. M. e HELENE, P. R. L. . **Reciclagem de Entulhos na Construção Civil, a solução Política e Ecologicamente Correta.** I Simpósio Brasileiro de tecnologia de Argamassas, Goiânia, 1995.

LEVY, S. M. **Problemas gerados pelo entulho.** 1995.

MANSOR, M. T. C. *et al.* **Caderno de educação ambiental.** Governo do Estado de São Paulo – Secretária do Meio Ambiente – Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 2010.

MOGROVEJO, D. R. L. **Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo argiloso e outro arenoso com adição de fibras de papel kraft.** Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, 2013, 193p.

MUGGERIDGE, P. **Which countries produce the most waste?**. World Economic Forum. 2015. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2015/08/which-countries-produce-the-most-waste/>>. Acessado em 26 de maio de 2017.

NOGAMI, J. S e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. Editora Villibor, São Paulo, 240p, 1995.

NUNES, K. R. A. **Avaliação de investimentos e de desempenho de centrais de reciclagem para resíduos sólidos de construção e demolição**. Tese (doutorado em Ciências em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2004.

OLIVEIRA, E. G. de; MENDES, O. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da resolução 307 do CONAMA**. Goiânia, 2008.

PEINADO, H. S. **Conheça as alternativas para fazer a cura de elementos de concreto**. Revista Técnica, Editora PINI, 2013.

PEREIRA, S. B. **O lixo produzido no estado de São Paulo: desperdícios que ajudam desfavorecidos a sobreviver**. X Congresso de geógrafos da América Latina. Universidade de São Paulo, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PISANI, M. A. J. **Tijolos de Solo Cimento: Um material de baixo impacto ambiental**. Revista de Arquitetura e Construção, São Paulo, v. I, n.1, p. 01-17, 2006.

PORTAL DO PLANALTO. **Construção civil emprega 13 milhões de pessoas no País**. Notícias. Palácio do Planalto, Presidência da República, Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/acompanhe-planalto/noticias/2016/08/construcao-civil-emprega-13-milhoes-de-pessoas-no-pais>>. Acessado em 15 de junho de 2017.

ROCHA, J. C. e CHERIAF, M. **Aproveitamento de Resíduos na Construção**. FINEP/ HABITARE. (Org.). Utilização de Resíduos na Construção habitacional. Porto Alegre, p. 72-94, 2003.

SAMPAIO, M. G. **Comportamento mecânico e hídrico de solos estabilizados com emulsão asfáltica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2008)

SANTO J. de O. *et al.* **Resíduo da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para minimização dos impactos ambientais**. Caderno de graduações, Ciências exatas e tecnológicas. v. 1, n. 1. Maceió, 2014.

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

SANTOS, M. F. N. *et al.* **Gestão da Produção, Operações e Sistemas.** Departamento de Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Bauru, São Paulo, 2011.

SENADO FEDERAL. **Manejo do amianto pode se tornar proibido no país.** Senado notícias. Disponível em: <<http://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2017/03/07/manejo-do-amianto-pode-se-tornar-proibido-no-pais>>. Acessado em 30 de maio de 2017.

SILVA, C. Z. da *et al.* **Umidade ótima de compactação de solo-cimento para diferentes traços.** XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela, RS, 2010.

TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS.** Revista Ambiente Construído, v. 12, n. 2, Porto Alegre, 2012.

VIEIRA, G. L. **Estudo do Processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

URBEM, Usina de Reciclagem e Beneficiamento de Entulho e Materiais. **URBEM tecnologia ambiental.** São Bernardo dos Campos, SP, 2017. Disponível em: <<http://www.urbem.com.br/principal.htm>>. Acessado em 31 de maio de 2017.