

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR - MG
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
BRUNA CRISTINA MIRANDOLA FERNANDES

**A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – RCD –
COMO AGREGADO PARA O CONCRETO.**

FORMIGA – MG
2015

BRUNA CRISTINA MIRANDOLA FERNANDES

**A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – RCD –
COMO AGREGADO PARA O CONCRETO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR - MG, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Esp. Alessandra Cláudia Cabanelas Silva

Co-orientadora: Ma. Dayana Cristina Silva Garcia

FORMIGA – MG

2015

F363 Fernandes, Bruna Cristina Mirandola.
A utilização de resíduos da construção civil e demolição – RCD – como agregado para o concreto / Bruna Cristina Mirandola Fernandes. – 2015. 68 f.

Orientadora: Alessandra Cláudia Cabanelas Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro Universitário de Formiga–UNIFOR-MG, Formiga, 2015.

1. Resíduos de construção e demolição. 2. Reciclagem. 3. Agregado reciclado. I. Título.

CDD 628.4

Bruna Cristina Mirandola Fernandes

A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – RCD –
COMO AGREGADO PARA O CONCRETO.

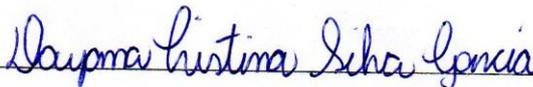
Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil do UNIFOR - MG, como requisito
parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Esp. Alessandra Cláudia Cabanelas Silva

Orientadora



Ma. Dayana Cristina Silva Garcia

Co-orientadora



Prof.^o Dr. Ronan Souza Sale

UNIFOR

Formiga, 13 de Novembro de 2015.

“Portanto, tomai toda a armadura de Deus, para que possais resistir no dia mau e, depois de terdes vencido tudo, permanecer inabaláveis. (Ef 6:13)”

Dedico esta vitória com muito amor e carinho:

Aos meus pais, Carlos e Rosilaine.

Ao meu irmão, Vitor.

Ao meu Namorado, Alberto Henrique Vecci.

Á minha Família.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me capacitado, me carregado no colo quando precisei, e ter me fortalecido nessa caminhada. Toda honra e toda glória a Ti Senhor.

A minha mãe Rosilaine por ter sido sempre meu refúgio, pelas horas incontáveis ao telefone com histórias boas, ou nem tanto, por sempre me apoiar, pela confiança e pelo amor incondicional.

Ao meu pai Carlos por me incentivar da mesma forma que foi incentivado pelo meu avô. Agradeço pela confiança.

Meu irmão Vitor, que pra sempre vai ser meu “bebê”, meu melhor companheiro de viagens, sei que você compreende minha ausência e também morre de saudades de mim!

Ao meu namorado Alberto pelo exemplo de profissional, pelo amor ao que faz, pela dedicação e empenho, você será sempre vencedor e merece todo sucesso. Amor Você é meu orgulho, te admiro pela pessoa que é, seu caráter, sua honestidade, você é muito especial para mim e para Deus. Que Deus continue nos abençoando com o mais puro amor. Você é para sempre, Te Amo!

Aos meus familiares Fernandes e Mirandola, em especial Vó Malavilosa, Vó Preta, Jhulie, Tia Zai, Lucas, Tia Irene, Tia Cida, Letícia e Patrícia, por estarem ao meu lado, entendendo minha constante falta de presença e por de alguma forma, sempre torcerem pela minha vitória, amo vocês.

Aos meus familiares do coração os “Nascimento’s”, agradeço a Deus por ter colocado vocês na minha vida. A minha sogra Solange por todo apoio, amizade, carinho, compreensão, ajuda, e por dar vida ao meu amor, você sempre será a melhor sogra que eu poderia ter, Deus nunca erra, Ele sempre capricha!!!

Minha querida dona Cacá, sua força de viver, sua fé e sua coragem são inspiradoras, que Deus continue abençoando e dando mais força a cada dia.

Minha orientadora Alessandra Cláudia Cabanelas Silva, meu agradecimento especial pela orientação, apoio, por acreditar no meu trabalho e em mim.

À co-orientadora Dayana Cristina Silva Garcia, pelos diversos encontros e e-mails, você foi essencial para a realização deste trabalho, obrigada pela amizade.

Aos meus amigos Bruna Trindade e José Ronaldo que sempre estiveram presentes, apoiando e trazendo alegria para meus dias, vocês são para a vida toda!! Aos “picaretas”, que nossa amizade dure muitos anos!

RESUMO

A construção civil tem impactado o meio ambiente devido ao grande volume de resíduos gerados em obras de construção ou de demolição e afetando também com a retirada de recursos naturais, como: areia, brita, cal, água potável e madeira. O grande desafio do setor da construção é transformar esse resíduo em uma fonte alternativa de matéria-prima, através da reciclagem do resíduo de construção e demolição (RCD). O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência da adição do resíduo de construção civil e demolição como agregado, na resistência à compressão do concreto. A realização deste se deu no município de Formiga - MG onde verificou-se as principais características dos resíduos e notou-se a predominância da fração cerâmica em sua composição. Com isto, o presente estudo procurou avaliar a possibilidade da utilização da fração cerâmica do RCD, como agregado para o concreto de referência, através de análises laboratoriais. O agregado foi utilizado na sua fração miúda e graúda, em percentuais fixados em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de substituição. De acordo com os ensaios realizados no decorrer do trabalho, verificou-se que a utilização do resíduo como substituto parcial do agregado torna-se uma alternativa. Foi possível concluir que o uso do resíduo na forma de agregado para o concreto, na proporção de 25%, não afeta a resistência à compressão, tornando-se uma alternativa.

Palavras-chaves: Resíduos de construção e demolição; reciclagem; agregado reciclado.

ABSTRACT

Civil construction engineering has been causing damages to the environmental issues due the big number of waste generated by construction or demolition sites. they are also affected by the extraction of natural resources such as: grain, gravel, drinkable water and timber. The biggest challenge of the construction sector is to transform these residues to an alternative source of feedstock and through recycling construction and demolition residues (RCD). This following paper has the analyze the influence adding construction and demolition residue as aggregate, the strength of the concrete compression. The realization of this occurred was made in Formiga - MG where it was possible to see the main characteristics of those same residues, and it can be noticed the predominance of ceramics in its composition. That said, this study tried to evaluate the possibility of reutilizing ceramics as RCD, as to be used as concrete through lab research. The aggregate was used in a small and in a large fraction, in fixed percentage as 0%, 25%, 50% 75% and 100% of substitution. According to the tests conducted in this paper it was found that the use of waste as a partial substitute for aggregate becomes an alternative. It was possible concluded that the use of residue in form of aggregate for concrete in a proportion of 25%, does not affect the compressive strength, becoming an alternative.

Keywords: Construction and demolition waste; recycling; recycled aggregates.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Origem dos RCD em alguns municípios brasileiros | 22 |
| Figura 2 - Processo de triagem do RCD | 25 |
| Figura 3 - Edifício São Vito, em São Paulo, prestes a ser demolido. | 37 |
| Figura 4 - Demolição do Edifício São Vito, destroços. | 37 |
| Figura 5 - Seleção dos resíduos da demolição, triagem. | 38 |
| Figura 6 - Aplicação da base de RCD | 38 |
| Figura 7 - Pavimento de asfalto feito com adição de..... | 38 |
| Figura 8 - Blocos e casa popular, feitos a partir do material de..... | 39 |
| Figura 9 - Estação de reciclagem Estoril/SLU-PBH | 43 |
| Figura 10 - Material sendo despejado na estação de..... | 43 |
| Figura 11 - Estação de reciclagem Pampulha/ SLU-PBH..... | 43 |
| Figura 12 - Fluxograma do procedimento adotado no ensaio | 48 |
| Figura 13 - Amostra do RCD coletado..... | 46 |
| Figura 14 - Moldes | 50 |
| Figura 15 - Corpos de prova moldados | 50 |
| Figura 16 - Corpos de prova mergulhados no tanque com água. | 51 |
| Figura 17 - Gráfico da análise granulométrica da areia por peneiramento..... | 52 |
| Figura 18 - Gráfico para análise granulométrica por peneiramento | 53 |
| Figura 19 - Gráfico da análise granulométrica o RCD por peneiramento..... | 54 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão..... | 55 |
|---|----|

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Principais autores..... | 20 |
| Quadro 2 - Perda de materiais em processos construtivos..... | 21 |
| Quadro 3- Usos recomendados para agregados reciclados. | 33 |
| Quadro 4 - Variação de propriedades dos agregados com diferentes porcentagens de substituição da brita granítica natural pela britada reciclada. | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Custo da produção de concretos produzidos com agregados naturais. ... | 30 |
| Tabela 2 - Custo da produção de concretos produzidos com agregados reciclados. | 30 |
| Tabela 3 - Traços de concreto com cimento CP V-ARI..... | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

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

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

D50 – Tamanho médio das partículas.

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PGRCC – Projetos de Gerenciamento de Resíduo da Construção Civil.

PIGRCC – Plano Integrado de Gestão de Resíduo da Construção Civil.

RCC - Resíduos da Construção Civil.

RCD – Resíduos de Construção Civil e Demolição.

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos.

SINDUSCON-MG – Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 17 |
| 2.1 | Objetivo geral | 17 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 17 |
| 3 | JUSTIFICATIVA | 18 |
| 4 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 19 |
| 4.1 | Resíduos na construção civil..... | 19 |
| 4.1.1 | Histórico..... | 20 |
| 4.1.2 | Desperdícios e perdas de materiais na construção civil | 21 |
| 4.2 | Geração do resíduo de construção e demolição..... | 22 |
| 4.2.2 | Utilização do RCD..... | 24 |
| 4.3 | Normas vigentes..... | 25 |
| 4.4 | Impactos ambientais gerados pelos RCD | 27 |
| 4.5 | Reciclagem de RCD..... | 28 |
| 4.5.1 | Vantagens da reciclagem de RCD..... | 29 |
| 4.5.2 | Dificuldades para a reciclagem de RCD | 30 |
| 4.6 | A composição do RCD Brasil e Mundo | 31 |
| 4.6.1 | A reciclagem de RCD no Brasil | 32 |
| 4.7 | Agregados reciclados | 32 |
| 4.7.1 | Uso do agregado reciclado em concreto | 34 |
| 4.7.2 | Uso do agregado reciclado nos elementos de alvenaria..... | 35 |
| 4.7.3 | Uso do agregado reciclado para pavimentação | 36 |
| 4.8 | Projetos que foram executados utilizando RCD..... | 36 |
| 4.9 | Gerenciamentos do RCD no Brasil..... | 39 |
| 4.9.1 | Gestão dos RCD na cidade de Belo Horizonte | 41 |
| 5 | METODOLOGIA | 45 |
| 5.1 | Materiais..... | 45 |
| 5.2 | Métodos..... | 46 |
| 5.2.1 | Caracterização dos materiais..... | 47 |
| 5.2.2 | Confecção dos corpos de prova..... | 47 |
| 5.2.3 | Resistência à compressão | 51 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 52 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 6.1 | Ensaio de granulometria..... | 52 |
| 6.2 | Ensaio de compressão | 54 |
| 6.3 | Discussão | 55 |
| 7 | CONCLUSÃO | 58 |
| | REFERÊNCIAS..... | 59 |
| | ANEXO A – Resultados dos Ensaio Granulométricos | 63 |
| | ANEXO B – Resultados dos Ensaio de Compressão. | 66 |

1 INTRODUÇÃO

Por ser uma das atividades humanas mais antigas, a construção civil, começou a ser executada de forma artesanal e desde então, vem gerando uma grande quantidade de resíduos minerais.

No contexto atual, a crescente demanda da construção civil fez com que a mesma gerasse um acúmulo excessivo de resíduos de materiais provenientes de restos de obras ou demolições. Devido a esta questão, surgiu a necessidade de se encontrar uma destinação correta e sustentável para estes resíduos.

A reutilização dos materiais e o destino específico para cada um deles colaboram diretamente com as questões ambientais, pois, na maioria dos casos, o resíduo não tem destinação adequada e é depositado em áreas clandestinas, devido à escassez de áreas de deposição legalizadas pelas prefeituras.

Os obstáculos para que esses resíduos sejam reaproveitados e reciclados são a falta de conhecimento sobre o assunto e a falta de esclarecimento do que se pode fazer e de como fazer. Assim, o resíduo deve ser visto como uma oportunidade e não como um problema.

Para que ocorra essa redução, deve-se ampliar a reciclagem e explorar oportunidades para reutilizar esses resíduos em obras, evitando que esses materiais excedentes virem lixo. Não tem sentido acumular entulhos de demolições e construções e continuar explorando recursos naturais, como: areia e brita que são retiradas da natureza.

A indústria da construção civil é uma das maiores geradoras de resíduos, implicando altos impactos ambientais. No contexto atual, ser ecologicamente correto garante ao setor da construção um crescimento acima do esperado, pois além de começar a ser bem vista pela população, passa a facilitar as negociações com órgãos públicos, iniciativa privada e com potenciais parceiros. Esse ser, ecologicamente correto, nada mais é do que, não utilizar somente de recursos naturais, beneficiando assim a sociedade e o meio ambiente.

Neste sentido o presente trabalho visa o estudo das propriedades do resíduo, e a influência da adição do mesmo como agregado na resistência à compressão de concretos.

2 OBJETIVOS

Neste tópico serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos conforme a seguir.

2.1 Objetivo geral

Analisar a influência da adição de resíduo de construção e demolição, como agregado, na resistência à compressão de concretos, com diferentes percentuais.

2.2 Objetivos específicos

- Pesquisar as propriedades do resíduo de construção civil e demolição (RCD), provenientes da fração cerâmica.
- Realizar ensaio de compressão em concretos moldados com diferentes teores de RCD.
- Avaliar as diferentes dosagens de adição do RCD no concreto.
- Realizar um comparativo entre a resistência à compressão do concreto sem adição com os concretos com RCD.

3 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento acelerado do mercado da construção civil, ocorreu uma maior procura por matéria prima. A brita e areia, por exemplo, são recursos naturais, e por este motivo precisam de jazidas para exploração. Essa exploração compromete o meio ambiente, sem falar que é uma fonte esgotável, ou seja, pode acabar um dia.

Este crescente aumento na demanda das obras na construção civil ocasionou em um aumento de geração de resíduos, tanto na área de edificações, como na área de demolições. Esses resíduos de construção e demolição acarretam alto impacto ambiental, pois esse material é destinado a aterros e, muitas vezes, esses aterros são clandestinos, além de ser visivelmente feio, comprometendo o meio ambiente.

Por esses motivos, este trabalho pretende fazer uma revisão bibliográfica acerca dos resíduos de construção civil e demolição (RCD), focando nas questões de reciclagem e reutilização destes resíduos através de ensaios laboratoriais.

Trata-se de um assunto relevante, pois o processo de reutilização torna-o ecologicamente correto, pois é feita a devida separação de resíduos para que cada um receba a destinação correta, contribuindo para o meio ambiente.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O seguinte trabalho tem por objetivo fazer uma análise sobre os resíduos oriundos da construção civil e de demolição, visando à reciclagem e/ou a reutilização desses resíduos.

Será realizado uma revisão diante da abordagem de alguns autores sobre o tema.

4.1 Resíduos na construção civil

Atualmente, têm-se preocupado muito com as questões ambientais, principalmente, na construção civil, responsável por vários impactos ambientais. Além das novas edificações, as demolições de edificações antigas também geram resíduos.

Com aquecimento da construção civil, houve também o crescimento acelerado do consumo de recursos naturais. Devido a isso, houve um aumento na procura por materiais e foi surgindo à necessidade de mais recursos no mercado, em consequência deste fato, os materiais naturais estão sendo altamente explorados, pois à procura, em geral se tornou maior.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA – n. 307, de cinco de julho de 2002, define os Resíduos de Construção civil e Demolição (RCD), como:

(...) resíduos provenientes de construção, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2002, p. 1).

Nem todos os resíduos são reaproveitados, resíduos como: o gesso, colas e tintas dificilmente serão reutilizados. Dentre os resíduos listados pelo CONAMA, os que serão utilizados neste trabalho correspondem à fração cerâmica, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, e concretos em geral.

4.1.1 Histórico

Os RCD's são gerados há muito tempo e a reutilização e reciclagem desses resíduos não é um assunto recente no mundo. A denominação RCD é usada por que entulho é um termo amplo e essa denominação, remete a idéia da natureza dos resíduos, provenientes da área da construção civil e das demolições.

Segundo Levy (2007), a construção civil foi executada de forma artesanal desde o começo da civilização, gerando uma grande quantidade de entulho. Isto acabou chamando a atenção dos construtores na época das edificações das cidades do Império Romano e desde então, têm-se os primeiros registros de reutilização de resíduos provenientes da construção civil, para a produção de novas obras.

Somente após o final da Segunda Guerra Mundial, que foi registrada a primeira aplicação significativa do entulho reciclado, na reconstrução das cidades Europeias. “Elas tiveram seus edifícios totalmente demolidos, e o escombros ou entulho resultante foi britado para produção de agregados visando atender à demanda na época.” (Wedler e Hummel, 1946 apud Levy, 2007, p.1629) ¹.

No país foram desenvolvidas algumas pesquisas científicas envolvendo o uso desse tipo de agregado.

O QUADRO 1 a seguir, consta os pioneiros no estudo de agregados para reciclagem e reutilização.

Quadro 1 - Principais autores.

| Pioneiros nacionais no estudo dos agregados | | |
|--|-------------------------|------------|
| Autor | Tipo de Agregado | Ano |
| PINTO | Argamassas | 1986 |
| LEVY | Argamassas | 1997 |
| BODI | Pavimentos | 1997 |
| ZORDAN | Concretos | 1997 |

Fonte: O autor (2015).

De acordo com as datas acima constata-se que no Brasil, a reciclagem do RCD é um assunto recente. Atualmente, o RCD vem sendo utilizado nas obras civis. O material pode ser britado diretamente no canteiro de obras ou em usinas de reciclagem. A área da construção civil que tem aprimorado a utilização desse resíduo na forma de material reciclado é a pavimentação.

¹ WEDLER, B.; HUMMEL, A. Trümmerverwertung und ausbau von brandruinen. Wilhelm Ernest & Sohn, Berlin, 1946. 1ª ed.

4.1.2 Desperdícios e perdas de materiais na construção civil

O RCD é gerado normalmente em grandes volumes. Ao chegar a uma obra em andamento, uma das primeiras coisas que se pode observar, é uma caçamba na porta da mesma, isto se deve a cultura das construções.

O profissional responsável pela obra, muitas vezes, encontra dificuldades para a interpretação de um projeto, o que acaba gerando pequenos ou grandes erros de execução. Esses “erros” podem ser corrigidos com alterações no projeto, evitando o que acostuma acontecer, pois são desfeitos, desconstruídos, ocorrendo então à perda e o desperdício do material envolvido.

O QUADRO 2 demonstra as porcentagens de perda de materiais durante os processos construtivos.

Quadro 2 - Perda de materiais em processos construtivos convencionais.

| MATERIAIS | AUTORES | | |
|------------------|-----------|---------------|----------------|
| | Pinto (1) | Soibelman (2) | FINEP/ITQC (3) |
| Concreto usinado | 1,50% | 13% | 9% |
| Aço | 26% | 19% | 11% |
| Blocos e tijolos | 13% | 52% | 13% |
| Cimento | 33% | 83% | 56% |
| Cal | 102% | -- | 36% |
| Areia | 39% | 44% | 44% |

(1) Valores de uma obra (PINTO, 1999).

(2) Média de cinco obras (SOIBELMAN, 1993).

(3) Média de diversos canteiros(SOUZA et al., 1998).

Fonte: PINTO (1999).

Os profissionais da construção civil devem focar as atenções nos próprios índices, podendo assim detectar onde ocorreram as maiores atividades de perda e desperdício.

Nem toda perda se transforma em resíduo, uma parte fica na própria obra. Quando se trata de uma obra de pequeno porte, essa perda de material não é tão significativa, mas, ao tratar-se de grandes obras, poderá ocorrer além do desperdício, um custo significativo no final da obra.

As perdas podem ser divididas em dois tipos: os desperdícios de materiais e a execução de tarefas desnecessárias.

4.2 Geração do resíduo de construção e demolição

Para Junior (2009), ciclo de vida do produto esta relacionado com os impactos sobre o meio ambiente, decorrentes de todas as etapas a que é sujeito, desde a concepção, planejamento, produção, transporte, consumo e descarte, até o destino final do resíduo.

Os RCD's resultam das atividades em uma nova construção, demolições, reabilitações e outras estruturas.

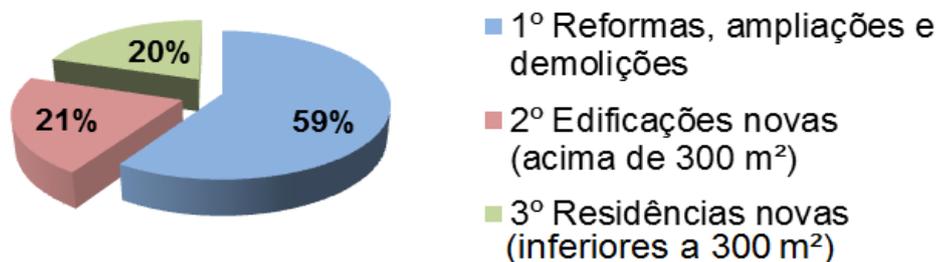
“Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.” (BRASIL, 2002, p. 3).

Segundo Paiva e Ribeiro (2005) a construção civil é o maior produtor de resíduos da sociedade. Com a demanda cada vez maior por habitações, as cidades transformam-se em grandes canteiros de obras.

Pinto (1999), em seu trabalho, afirma que há poucos anos atrás não havia nenhum tipo de indicador para as perdas na construção civil, e se não fossem pelas “montanhas” de entulho que tanto a construção como a demolição ou “desconstrução” geram pouco se saberia sobre a intensidade da geração desses resíduos.

De acordo com a FIG. 1, observa-se que os maiores volumes de resíduos gerados na construção civil, no Brasil, são provenientes de reformas ou demolições, sendo maior do que a construção de novas edificações.

Figura 1 - Origem dos RCD em alguns municípios brasileiros



Fonte: MIRANDA; ANGULO; CARELI (2009).

O RCD não apresenta um padrão, composição única e homogeneidade, uma vez que, cada obra emprega materiais distintos em sua execução, além de variar muito em função da disponibilidade de cada material em cada região.

Segundo Levy (2007), os materiais que aparecem em maior frequência nas disposições finais são: asfalto, vidro, concreto, argamassa, cal, material cerâmico, material de poda, pedra britada, madeira, entre outros.

“Dados levantados em diversas localidades mostram que a geração dos resíduos de construção e demolição (RCD's) pode alcançar até duas toneladas para cada tonelada de lixo domiciliar.” (FAGURY; GRANDE, 2007, p.36).

Segundo Addis (2010), a indústria de resíduos da construção civil tem tentado incentivar a redução da massa de resíduo descartado. O reaproveitamento e a reciclagem dos materiais de construção civil e demolição trazem inúmeros benefícios e deve apresentar progresso nos próximos anos, devido à redução do impacto ambiental. Além do mais, uma obra que reutiliza e recicla tem maior facilidade na obtenção de alvarás de construção e, conseqüentemente, há uma significativa redução dos custos de projeto ao final da obra; um profissional engajado em projetos de reutilização, reciclagem, possui maior respeitabilidade e credibilidade no seu mercado de atuação.

Os geradores de RCD devem ter como prioridade a não geração excessiva de resíduos e, ter como objetivo a redução, reutilização e a reciclagem do mesmo. (BRASIL, 2002).

Os materiais passam por algumas etapas até chegarem à obra propriamente dita. Essas etapas consistem na extração, manufatura e o produto final. O produto então estará disponível para o uso. Depois da fase do uso, vêm as fases de demolição ou desmonte. Na fase de desmonte, este material passa pela coleta, reforma e manufatura, saindo o produto pronto para a reutilização. Na fase de demolição, o processo passa pela reciclagem e volta à manufatura, pronto para ser fabricado um novo produto.

Quando se fala em demolição são citados dois tipos: a demolição comum e a demolição seletiva. Em todo caso, as demolições devem seguir normas técnicas e normas de segurança. Em casos de reutilização ou reciclagem dos resíduos de demolição, a mesma deverá ser considerada como a primeira etapa da obra.

Na demolição comum, o que ocorre é a destruição total da construção, visando limpar o mais rápido a área, para dar lugar para outra construção. A

demolição seletiva é o processo de desmonte de uma construção, visando aproveitar ao máximo os materiais e componentes para a reutilização, evitando a geração desordenada de resíduos, que uma demolição comum causa, pois, os elementos são retirados quase que um por um, sendo possível selecionar o resíduo e dar destinação correta para ele.

Em Minas Gerais, cartilha da Sinduscon – MG de 2005 apresenta as oportunidades e as dificuldades de um processo de demolição seletiva.

Segundo Júnior (2005) as oportunidades ou vantagens de uma demolição seletiva são a redução de materiais perigosos, a redução do RCC nas áreas de disposição, a reutilização do material e o ganho econômico com o mesmo, a preservação dos recursos naturais e a remoção completa da estrutura antiga. Já acerca das dificuldades a cartilha cita o risco à segurança do trabalhador, maior tempo para o desmonte completo, a necessidade de áreas de triagem e recuperação, a falta de normas e a falta de locais para distribuição do material retirado.

A cartilha então, nos mostra que as vantagens em fazer a demolição seletiva são muitas para a população e também facilita o reaproveitamento de alguns materiais, mas, que apresentam desvantagens como o risco aos trabalhadores envolvidos.

4.2.2 Utilização do RCD

“A utilização de um RCD devidamente processado com vista à sua integração como matéria-prima numa indústria carece de um tipo de análise caso-a-caso.” (AGÊNCIA, 2011, p. 6).

O grande segredo para a utilização do RCD está relacionado com a triagem, que nada mais é do que a separação dos resíduos.

Segundo Agência (2011), caso a triagem no local de produção dos resíduos se demonstre inviável, o resíduo poderá ser encaminhado para um operador de gestão licenciado para esse efeito.

O processo de triagem é essencial não só para separar o resíduo, como para quantificar e classificar, pois, somente após o processo de triagem é permitida a deposição de RCD em aterro.

A FIG. 2 está ilustrando os operadores separando e classificando os resíduos.

Figura 2 - Processo de triagem e moagem do RCD.



Fonte: Revista Técnica (2001).

Segundo Addis (2010), para que sejam utilizados esses materiais, as políticas governamentais precisam focar alguns aspectos, sendo um aspecto importante à redução da extração de materiais novos, isto é, a reutilização beneficia o meio ambiente em vários aspectos, sendo o principal deles, na redução da extração de materiais naturais, reduzindo com isso os recursos necessários para o seu processamento; outro aspecto seria a redução significativa na quantidade de entulho gerada e descartada, ou seja, a reutilização e a reciclagem tiram os materiais do meio urbano, antes que os mesmos vão para o lixo e sejam descartados em aterros.

O RCD vem sendo amplamente estudado. Pesquisas acerca do agregado reciclado em concretos, em elementos de alvenaria e em obras de pavimentação, vêm sendo feitas no país.

A utilização do RCD começou a ganhar forças devido ao alto impacto ambiental que o resíduo causa.

4.3 Normas vigentes

Para que seja implementada uma política visando os resíduos da construção civil e demolição, devem ser analisados todos os materiais.

De acordo com a Resolução nº 307 do Conama, Brasil (2002), os resíduos de construção e demolição, são classificados em classes:

- Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
 - a) De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
 - c) De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;
- Classe C – são os resíduos para os quais 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. (BRASIL, 2002, p. 2).

No âmbito nacional, tem-se a Resolução nº 307 do Conama, Brasil (2002), que prescreve que os resíduos de construção que podem ser reutilizados ou reciclados para a produção de agregados são aqueles que se enquadram na “Classe A”. A resolução descreve sobre as diretrizes para reciclar ou reutilizar o RCD.

No plano estadual, as leis tratam de forma generalizada a questão dos RCD's, elaborando critérios e proibições, de acordo com a resolução nº 307 do Conama, Brasil (2002), para os fatores: fonte, acondicionamento adequado, transporte, e destino.

O contexto municipal quando não possui plano diretor, também segue a resolução nº 307 do Conama, Brasil (2002) que define que cada município desenvolva e implante políticas estruturadas para a gestão de resíduos, como o Programa Integrado de Gestão de RCC – PIGRCC, bem como a inclusão dos Projetos de Gerenciamento de RCC - PGRCC.

Um plano integrado de gerenciamento deve necessariamente incorporar um programa municipal de gerenciamento de resíduos da construção civil, que possua indicações técnicas e normas para o desempenho das responsabilidades dos pequenos geradores e transportadores, e projetos de gerenciamento de resíduos da construção civil que orientem, regulamentem e demonstrem o comprometimento de coleta correta por parte dos geradores de resíduos, tanto públicos quanto privados.

Segundo Fagury e Grande (2007), o sistema de gestão deve ser implantado pelo poder público municipal. Essa gestão tem que dar diretrizes para a redução das deposições irregulares e deve adequar o destino dos resíduos segregados.

Há uma carência de informação a respeito dos Planos Municipais e sobre ações de gerenciamento fazendo com que, poucos municípios consigam implantar o que determina a Resolução nº 307 do Conama, Brasil (2002).

4.4 Impactos ambientais gerados pelos RCD

O setor da construção é grande consumidor de recursos naturais e produtor de resíduos, sendo responsável por grande parte dos impactos ambientais.

O consumo desenfreado de recursos naturais pela construção civil, em geral, acarreta impactos ambientais em todas as etapas do processo, como: extração, produção de materiais, construção, uso e demolição, gerando uma grande quantidade de resíduos. Esse acúmulo excessivo de resíduos gera muitas desvantagens para a população.

Os resíduos afetam, direta ou indiretamente, a qualidade dos recursos ambientais, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, a saúde, e o bem-estar da população.

“As deposições irregulares, geralmente, resultam de pequenas obras ou reformas realizadas pelas camadas da população urbana mais carente de recursos. Colaborando fortemente para a degradação ambiental.” (PINTO; GONZÁLES, 2005, p.25).

Para Fagury e Grande (2007), se as deposições de RCD forem de forma inadequada, ocasionará em alto impacto ambiental e social, esse despejo inadequado contribui na degradação da qualidade de vida em vários aspectos, tais como transportes, enchentes, poluição visual, assoreamento de rios e córregos, assim como a proliferação de vetores de doenças.

Pinto (1999) descreve sobre as estimativas a cerca da geração de RCD no Brasil, e afirma que segundo tais estimativas, a geração per capita chega a 510 kg/hab./ano.

Geralmente, as deposições irregulares são resultado de pequenas obras ou reformas e são ocasionadas pela população urbana mais carente de recursos. Esse despejo de material irregular colabora fortemente com a degradação ambiental.

4.5 Reciclagem de RCD

São consideradas atividades de reciclagem, ações que tenham como finalidade a reutilização de materiais ou produtos, visando estender o ciclo de vida e reduzir os impactos referentes à deposição ou emissão de poluentes.

A reciclagem do resíduo de construção e demolição não começou a ser feita antes devido a pouca informação que se tem a respeito. Devido, principalmente as questões ambientais e econômicas, a reciclagem necessita de uma crescente. A reciclagem do RCD compreende os rejeitos produzidos pela construção civil, visando o reaproveitamento.

De acordo com Isaia (2007), as pesquisas a cerca da reciclagem do RCD não tem por objetivo o esgotamento do tema, o que se procura são possibilidades de reciclagem e reutilização dos resíduos de diversas indústrias ligadas à construção civil.

Segundo Levy (2007), somente a partir de 1946, houve o desenvolvimento da reciclagem do entulho de construção civil.

“O processo de reciclagem consiste basicamente na britagem do RCD do tipo Classe A, diminuindo o tamanho dos grãos e produzindo assim o agregado reciclado.” (LEITE, 2007, p. 32).

Miranda, Ângulo e Careli (2009) descrevem a respeito da triagem do resíduo, onde um material que passa pela triagem tem uma redução de volume, decorrente, principalmente, da má organização do material dentro das caçambas, formando vazios.

A resolução nº 307 do Conama, destina os resíduos após a triagem da seguinte forma:

- Resíduos 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;
- Resíduos Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura;
- Resíduos Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- Resíduos Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (BRASIL, 2002, p. 5).

“Embora as técnicas de reciclagem dos resíduos minerais de construção civil tenham evoluído, não se pode afirmar com absoluta convicção, que a reciclagem se tenha tornado uma idéia amplamente difundida.” (LEVY, 2006, p. 376).

Segundo Fagury e Grande (2007), o RCD apresenta elevado potencial de reciclagem, servindo como matéria-prima para produção de materiais de construção.

Somente se fossem cobradas taxas de aterro, o desejo por materiais naturais iria ser reduzido e, conseqüentemente, a procura por materiais reciclados ou reutilizáveis seria maior.

4.5.1 Vantagens da reciclagem de RCD

Devido ao distanciamento de algumas jazidas naturais, em relação aos centros urbanos, uma possível solução seria a utilização de agregados reciclados. Essa utilização aproveitaria os resíduos (RCD), e substituiria parcialmente os agregados naturais.

“A utilização desses resíduos seria uma solução para alguns problemas, como a escassez de áreas para deposição de entulhos, elevados recursos gastos na desobstrução de córregos e vias públicas por parte das autoridades municipais.” (LEVY, 2007, p. 1633).

Além de reciclar o resíduo e reutilizá-lo, as vantagens vão adiante, pois o custo com transporte destes materiais reciclados, em relação ao transporte do material natural, seria relativamente inferior, acarretando em um menor custo com transporte ao final da obra.

Para Ferreira e Thomé (2011), o reaproveitamento do RCD, além de trazer vantagens do ponto de vista ambiental, se torna uma alternativa economicamente vantajosa, pois a partir deste material pode ser criado um novo material, com isso haverá redução da utilização dos recursos naturais.

Uma das principais vantagens para que seja feita a reciclagem dos resíduos, é a economia no custo total de uma obra.

“Para a produção de 1m³ de concreto, gasta-se em média 300 kg de cimento, 0,60 m³ de areia e 0,80 m³ de brita. Para a produção de 1m³ de concreto reciclado, foi substituído 20% do agregado natural por reciclado.” (LEVY, 2007, p. 1638).

Segundo Levy (2007), na produção de 1m³ de concreto com reciclados se tem uma economia significativa por m³. Os valores unitários médios das TAB. 1 e 2 a seguir são da Praça de São Paulo do ano de 2007.

Tabela 1 - Custo da produção de concretos produzidos com agregados naturais.

| Material | Quantidade | Custo Unidade R\$ | Custo total R\$ |
|-----------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| Cimento | 300 kg | 0,30 | 90,00 |
| Areia | 0,60 m ³ | 30,00 | 18,00 |
| Brita | 0,80 m ³ | 32,00 | 25,60 |
| TOTAL | | | 133,60/m ³ . |

Fonte: LEVY (2007).

Tabela 2 - Custo da produção de concretos produzidos com agregados reciclados.

| Material | Quantidade | Custo Unidade R\$ | Custo total R\$ |
|-----------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|
| Cimento | 300 kg | 0,30 | 90,00 |
| Areia | 0,48 m ³ | 30,00 | 14,40 |
| Areia de RCD | 0,12 m ³ | 15,00 | 1,80 |
| Brita | 0,64 m ³ | 32,00 | 20,48 |
| Brita de RCD | 0,16 m ³ | 16,00 | 2,56 |
| TOTAL | | | 129,24/m ³ . |

Fonte: LEVY (2007).

De acordo com os quadros acima baseados na Praça de São Paulo houve uma queda de R\$ 4,36/m³ no custo total.

A maior vantagem do resíduo reciclado é que o mesmo pode substituir em grande parte os agregados naturais, na produção de concreto, blocos e pavimentação. A reutilização e a reciclagem do RCD só têm a contribuir, já que colaboram diretamente com a redução da agressão ambiental e eleva a qualidade de vida.

4.5.2 Dificuldades para a reciclagem de RCD

A maior dificuldade é a falta de conhecimento sobre o assunto. Para muitas pessoas, o resíduo nada mais é do que o lixo. Essa dificuldade vem da falta de cultura em reciclar. A reciclagem e até mesmo a reutilização dos resíduos só tendem a acrescentar positivamente.

Para Levy (2007), as técnicas para a reciclagem dos resíduos de RCD evoluíram, mas não se pode dizer que a reciclagem se tornou uma idéia difundida.

Pinto (1999), diz que entre os agravantes para os resíduos de construção e demolição, estão à falta de conhecimento sobre a quantidade de volume gerado, os graves impactos que eles causam no meio ambiente, os custos sociais envolvidos e, as possibilidades para seu reaproveitamento.

Os gestores dos resíduos só percebem a gravidade do acúmulo de resíduo, quando as ações corretivas vão se tornando ineficazes.

4.6 A composição do RCD Brasil e Mundo

Segundo Levy (2007), a reciclagem do RCD no Brasil, ainda não tem mercado definido, já em muitos países da Europa, a reciclagem tem mercado desenvolvido, principalmente, devido à escassez de recursos naturais em muitos países europeus.

“No Brasil estima-se que 50% do RCD são originados das construções (construção informal, canteiros de obras e provenientes de perdas físicas).” (SANTANA, et al., 2011, p. 2).

“Nações tecnologicamente desenvolvidas, como Estados Unidos, Holanda, Japão, Bélgica, França e Alemanha entre outras, já perceberam a necessidade de reciclar as sobras de construção civil.” (LEVY, 2007, p. 1633).

De acordo com Pinto (1999), os países europeus e o Japão por apresentarem elevada densidade demográfica, falta de locais para o descarte dos resíduos, uma elevada industrialização e ausência de recursos naturais, possuem políticas elaboradas e consolidadas em relação aos resíduos, sendo os pioneiros no desenvolvimento do conhecimento e controle dos RCD.

De acordo com Bravo, Brito e Mália (2011) na Dinamarca a reciclagem é uma prática corrente, sendo o país um caso de sucesso na gestão dos resíduos, pois, foi traçada uma meta para atingir a reciclagem de 90% dos resíduos em 2004, porém, alcançaram esse objetivo muito antes, em 1997.

Segundo Addis (2010), a Holanda é um país altamente comprometido em reduzir a quantidade de resíduos despejados, chegando a cobrar uma taxa de 100 libras, aproximadamente R\$ 479,00 por tonelada despejada.

De acordo com Wiens e Hamada (2006) a Holanda recicla cerca de 70% dos resíduos gerados, enquanto a Alemanha 30% e a capital da Dinamarca, Copenhague, aproximadamente 25%.

“O Reino Unido é um dos países que mais RCD produz dentro da União Europeia. No entanto, é também um daqueles que mais políticas têm implementado, de modo a reaproveita-los.” (BRAVO; BRITO; MÁLIA, 2011, p. 120).

Através dos estudos, pode-se perceber que os países altamente desenvolvidos e, com uma cultura voltada para o reaproveitamento, estão à frente ao que se refere à reutilização e reciclagem dos resíduos, porém, países que não apresentam informações acerca dos benefícios da reutilização e reciclagem do RCD estão sendo conscientizados somente agora.

4.6.1 A reciclagem de RCD no Brasil

O Brasil conta com aproximadamente 47 usinas de reciclagem, desse total, 24 são públicas (51%) e 23 são privadas (49%).

“As primeiras usinas de reciclagem instaladas foram pelas prefeituras de São Paulo, SP (1991), de Londrina, PR (1993), e de Belo Horizonte, MG (1994).” (MIRANDA; ÂNGULO; CARELI, 2009, p. 58).

Segundo Ferreira e Thomé (2011), os resíduos oriundos da construção civil no Brasil são 80% compostos de tijolos, areias e argamassas, independente do tipo de obra. O restante corresponde a concreto, pedras, material cerâmico, gesso e madeira.

4.7 Agregados reciclados

Segundo a resolução nº 307 do Conama, Brasil (2002), agregado reciclado é o material granular gerado através do beneficiamento dos resíduos da construção ou demolição, que atende as normas técnicas, podendo ser aplicado em obras de edificação, infraestrutura, em aterros sanitários e outras obras de engenharia.

“A produção de agregados reciclados, utilizando a fração cerâmica do entulho de construção como fonte de matéria-prima é uma atividade que, nos últimos anos, tem se consolidado no território nacional.” (LEVY, 2007, p. 1633).

“Economia não é a única razão de se usar agregado, pois este material atribui vantagens técnicas consideráveis ao concreto, que passa a ter maior estabilidade dimensional e melhor durabilidade do que a pasta de cimento pura.” (SANTANA, et al., 2011, p.2).

O agregado reciclado pode ser usado em obras de pavimentação, na adição em concretos não estruturais e em elementos de alvenaria, pois, possui composição heterogênea, sendo constituído de frações de diversas dimensões.

“Deve ser lembrado o fato de que o Brasil é um dos poucos países a terem aprovado normas específicas para utilização de agregados reciclados.” (LEVY, 2006, p. 377).

O resíduo reciclado gera alguns produtos, e cada um tem sua destinação de acordo, com as características. Não somente por razões econômicas, mas por ser um material que atribui vantagens técnicas consideráveis ao concreto, passando a ter maior estabilidade dimensional e durabilidade, em relação à pasta de cimento pura.

O QUADRO 3 está representando o resíduo que já passou pela triagem.

Quadro 3- Usos recomendados para agregados reciclados.

| Imagem | Produto | Características | Uso recomendado |
|---|--------------------|---|---|
|  | Areia reciclada | Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contra pisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação. |
|  | Pedrisco reciclado | Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros. |
|  | Brita reciclada | Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens. |

| | | | |
|---|-----------------|---|---|
|  | Bica corrida | Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente). | Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos. |
|  | Rachão | Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto. | Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem. |

Fonte: ABRECON (2015).

De acordo com o quadro pode-se ver qual tipo de produto deve-se usar em cada situação, de acordo com suas características e demonstra os produtos que se pode obter da triagem do resíduo.

4.7.1 Uso do agregado reciclado em concreto

Muitos estudos acerca da viabilidade técnica do uso de agregados reciclados para a fabricação de elementos de concreto com função estrutural ou sem, estão sendo desenvolvidos atualmente.

“Sua viabilidade técnica para substituição dos agregados graúdos em teores de até 20% já foi demonstrada em diversas pesquisas desenvolvidas nas várias universidades nacionais.” (LEVY, 2006, p. 376).

Segundo Levy (2006), devido a maior absorção de água em relação ao material natural, o agregado reciclado não é viável para fins estruturais. Para concretos sem função estrutural, o resíduo processado pelas usinas de reciclagem, pode substituir parcialmente os agregados convencionais, como areia e brita.

De acordo com Miranda, Angulo e Careli (2009), para que o agregado seja utilizado no concreto, é necessário realizar a mistura dos agregados naturais com os reciclados. Quando limitamos a porcentagem do agregado reciclado em relação ao natural, pode haver a redução da variabilidade das propriedades e assim os limites dados nas normas podem ser atendidos.

A TAB. 3 demonstra as porcentagens em que o agregado foi adicionado no lugar do material natural e até onde é aceito pela norma.

Tabela 3 - Variação de propriedades dos agregados com diferentes porcentagens de substituição da brita granítica natural pela britada reciclada.

| Parâmetros | Substituição da brita natural pela reciclada | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
| Teor de não minerais (%) | 0,00 | 0,40 | 0,80 | 1,20 | 1,60 | 2,00 | 2,40 | 2,80 | 3,20 | 3,60 | 4,00 |
| Teor de finos (%) | 1,00 | 2,90 | 4,80 | 6,70 | 8,60 | 10,50 | 12,40 | 14,30 | 16,20 | 18,10 | 20,00 |
| Absorção de água (%) | 0,50 | 2,45 | 4,40 | 6,35 | 8,30 | 10,25 | 12,2 | 14,15 | 16,10 | 18,05 | 20,00 |

*Resultados em cinza: não atendem aos limites da NBR 15116.

Fonte: MIRANDA; ÂNGULO; CARELI (2009).

“O RCD é um material nobre do ponto de vista de engenharia, pois normalmente se apresenta resistente e com baixa expansão.” (LEITE, 2007, p.20).

“Um aspecto que dificulta a utilização de agregados reciclados é a sua aparente heterogeneidade.” (FERNANDES, 2004, p. 13).

As vantagens de utilizar o material reciclado como agregado para o concreto são muitas, como: o reaproveitamento dos componentes minerais do entulho tais como os tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areia, pedras, não havendo a necessidade de separação. Ocorrerá também uma economia significativa de energia no processo de moagem, pois misturado ao concreto, o material pode se apresentar em granulometrias graúdas e podem ocorrer melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais.

4.7.2 Uso do agregado reciclado nos elementos de alvenaria

Os elementos de alvenaria que podem ser fabricados com agregados reciclados são: blocos de concreto, pré-moldados e tijolos de solo-cimento.

De acordo com Sansão (2009) é satisfatório a utilização de agregado reciclado para a fabricação de blocos de concreto, porém algumas precauções devem ser tomadas, visto que, o agregado absorve maior quantidade de água.

Sansão (2009) cita que a adição do agregado reciclado na fabricação de tijolos de solo-cimento proporciona tijolos mais compactos, com a massa específica elevada e menor absorção de água por imersão, atingindo maior resistência à compressão, porém, há desvantagens em relação à resistência de variações hidrotérmicas e intempéries.

O agregado de acordo com estudos é satisfatório, porém por ser um material heterogêneo pode ser que os resultados variem de um estudo para o outro.

4.7.3 Uso do agregado reciclado para pavimentação

Os agregados para pavimentação, geralmente são destinados para as camadas adjacentes do pavimento.

“A mistura solo-RCD é de uso promissor na pavimentação, dadas suas propriedades físicas e mecânicas aceitáveis de acordo com as normas.” (HORTEGAL; FERREIRA; SANT’ANA, 2009, p. 60).

“As camadas de base e sub-base produzidas com agregado reciclado apresentam custo de construção significativamente menor que as produzidas com brita graduada ou adicionada ao solo.” (FAGURY; GRANDE, 2007, p. 38).

A ABNT - NBR 15115 (2004) estabelece os parâmetros para execução de camadas subjacentes, como o reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como a camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, denominado “agregado reciclado”, nas obras de pavimentação.

Estudos comprovam que o RCD é um material de fácil trabalhabilidade para a pavimentação e há uma crescente no uso do reciclado.

4.8 Projetos que foram executados utilizando RCD

Nas obras da construção civil, há projetos que reutilizaram o RCD para pavimentação e projetos que reutilizaram para a criação de um novo material.

Por ser um material heterogêneo algumas pesquisas acerca dele foram desenvolvidas para que pudesse ser utilizado como agregado, para obras de pavimentação, ou como componente na substituição parcial ou total de agregados naturais.

Em relação à reutilização para a pavimentação, pode-se citar a demolição dos edifícios São Vito e Mercúrio, em São Paulo.

De acordo com Voltolini (2011), a Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras - Siurb, da cidade de São Paulo, a demolição gerou cerca de 45 mil m³ de entulho, o que corresponde a aproximadamente 64 mil toneladas.

A moagem do material foi feita de acordo com as necessidades da base do pavimento que seria realizado.

Segundo Voltolini (2011), os destroços foram utilizados como base para pavimentação de 30 km de vias da cidade.

Pode-se observar como foi feito o processo de demolição e reutilização de acordo com as FIG. de 3 a 7.

Figura 3 - Edifício São Vito, em São Paulo, prestes a ser demolido.



Fonte: Voltolini (2011).

Figura 4 - Demolição do Edifício São Vito, destroços.



Fonte: AE - Agência Estado (2011).

Figura 5 - Seleção dos resíduos da demolição, triagem.



Fonte: Voltolini (2011).

Figura 6 - Aplicação da base de RCD.



Fonte: Voltolini (2011).

Figura 7 - Pavimento de asfalto feito com adição de agregado reciclado.



Fonte: Voltolini (2011).

Em relação à construção de edificações, algumas obras no Brasil já reutilizaram materiais de construção para a fabricação de blocos.

Segundo Levy (2007), uma das obras ocorreu entre 2003 a 2004, no Rio de Janeiro. O edifício Andorinhas foi incendiado em 1986, restando apenas um esqueleto de nove andares, que teve que ser demolido para a construção de um novo edifício, o Torre Almirante. A demolição gerou cerca de 5000 m³ de entulho, que foram transformados em 600.000 blocos de 14x14x39 cm utilizados para a construção de casas populares. A FIG. 8 representa os blocos feitos com adição do resíduo.

Figura 8 - Blocos e casa popular, feitos a partir do material de demolição do Edifício Andorinhas.



Fonte: Levy (2007).

As empresas que em seus projetos leva a coleta, o reuso e a reciclagem de materiais a sério, devem ser vistas como empresas comprometidas com a melhora do meio ambiente, ou pelo menos, com a redução dos danos já causados a ele.

4.9 Gerenciamentos do RCD no Brasil

Visto que, no Brasil, não é comum a utilização de material reciclado, há uma tendência, por parte do poder público e privado, em equacionar e administrar essa geração de entulho, que aos poucos está se tornando um problema de grandes proporções, principalmente, nas maiores metrópoles do país.

“O gerenciamento dos resíduos da construção, apesar de sua regulamentação recente, já faz parte da agenda pública de alguns municípios há tempos.” (WIENS; HAMADA, 2006, p. 6).

“É instrumento para implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos municípios e pelo Distrito Federal.” (BRASIL, 2002, p. 3).

De acordo com a Lei Federal n. 10.257 de 10 de junho de 2001, cabe a cada município adotar políticas setoriais articuladas e sintonizadas com o seu plano diretor, por serem várias as políticas setoriais, tem-se a política setorial que trata da gestão de resíduos sólidos.

Como reflexo da preocupação do poder público em relação ao aproveitamento dos resíduos, foi criado em 2002 um projeto pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, a resolução nº 307, pois cabe aos órgãos públicos o dever de promover a educação ambiental.

A resolução nº 307 do CONAMA, Brasil (2005), define que as políticas de gestão devem ser estruturadas e dimensionadas de acordo com cada realidade local.

A resolução ainda descreve que a segregação dos entulhos deve ser feita na própria obra, assim como a destinação adequada de todos os resíduos, dando ao gerador do resíduo, a responsabilidade sobre ele.

Para Miranda, Angulo e Careli (2009), a vantagem de se ter um sistema de gestão do RCD no próprio canteiro de obra, é a destinação do mesmo.

Para Fagury e Grande (2007), a gestão adequada de RCD, pode acarretar na redução nos custos com a limpeza urbana e a recuperação de áreas de despejo degradadas; com a preservação dos aterros; com a redução da exploração de jazidas naturais dos agregados para as obras de construção civil; com a preservação das paisagens naturais urbanas; aumentando a geração de emprego e renda; e com a redução da geração de entulho nas atividades construtivas.

Segundo a resolução nº 307 do CONAMA, Brasil (2005), as construtoras devem elaborar cada uma o PGRCC - Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil como requisito para a aprovação dos projetos junto com as prefeituras, nesse projeto de gerenciamento, deve ser estimado a quantidade de cada resíduo, de acordo, com as classes, resultantes daquela construção e é definido para onde os mesmos serão destinados de forma ambientalmente correta.

Segundo Campos e Tavares (2013) uma das principais dificuldades em obter uma gestão adequada é a falta de diagnosticar as necessidades de cada localidade, bem como quantificar e caracterizar os resíduos.

Os projetos de gerenciamento de resíduos da construção civil contemplam as seguintes etapas:

- Caracterização: identificar e quantificar os resíduos.
- Triagem: realizada pelo gerador na origem ou nas áreas de destinação licenciadas para esta finalidade.
- Acondicionamento: deve ser garantido o acondicionamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando as condições de reutilização e de reciclagem.
- Transporte: em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos.
- Destinação: deve estar de acordo com as classes de resíduos estabelecidas. (PINTO; GONZÁLEZ, 2005, p. 12)

De acordo com Luz, Pulter e Tamura (2008) se o setor econômico implantasse estratégias de gerencia e logística, afetaria diretamente em uma melhor qualificação da mão-de-obra, pesquisas acerca do assunto e em técnicas construtivas menos impactantes, além de, aprimorar os processos de transporte e estocagem.

“Apesar da diversidade de métodos encontrados na literatura para a realização dessas atividades, a maioria dos municípios brasileiros não apresenta informações necessárias para a realização de forma completa.” (CAMPOS; TAVARES, 2013, p. 2).

Para que possa ser caracterizado e quantificado os resíduos, é extremamente necessário que as atividades de gestão de cada município sejam iniciadas.

Ao adotar um sistema de gestão ambiental, alguns benefícios podem ser listados, como: redução dos custos e uma melhoria na imagem da empresa e dos produtos que ela oferece, isto é, uma gestão devida dos resíduos minimiza impactos ambientais, trazendo benefícios para a população e para as empresas que possuem o sistema de gerenciamento.

O sistema de gerenciamento, além de fiscalizar, visa obter soluções para a valorização do RCD como material reciclado e reutilizável.

4.9.1 Gestão dos RCD na cidade de Belo Horizonte

No estado de Minas Gerais, há uma publicação para o gerenciamento, a cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para construção civil, publicada pelas instituições Sinduscon – MG, Senai – MG e Sebrae – MG, no ano de 2005.

Segundo Wiens e Hamada (2006), Belo Horizonte desenvolve ações voltadas para a gestão dos resíduos desde a década de 90.

De acordo com Miranda, Angulo e Careli (2009), a prefeitura de Belo Horizonte, desde 1994, utiliza os agregados reciclados produzidos através das usinas, nas obras de pavimentação da cidade.

A cidade de Belo Horizonte, sendo uma das pioneiras na reciclagem do RCD, possui um sistema de gestão municipal bem elaborado, e até o momento a cidade conta com três usinas de reciclagem instaladas.

De acordo com Leite (2007), a política de gestão de resíduos de Belo Horizonte é diferenciada. A própria prefeitura da cidade produz o agregado reciclado, através de três estações (usinas) de reciclagem de resíduos. Nessas estações são produzidos dois tipos de materiais: Tipo A: compostos basicamente de concreto e argamassas; Tipo B: composto por materiais mistos, como cerâmica, concreto, argamassa e outros.

Segundo Miranda, Angulo e Careli (2009), as usinas de Belo Horizonte, são a usina de Estoril que foi instalada no ano de 1994, e possui capacidade para 30 ton./h, a usina da Pampulha que foi instalada em 1996, e possui capacidade para 20 ton./h, e a usina da BR 040 que foi instalada em 2006, e possui capacidade para 40 ton./h.

Os resíduos que vão para as usinas são transformados geralmente em areia, minério de ferro e dois tipos de brita, esse material é utilizado nas camadas de base das vias públicas e meios-fios e na confecção de blocos.

As FIG. 9, 10 e 11 representam as estações de reciclagem existentes em Belo Horizonte que estão em funcionamento. Sendo as FIG. 9 e 10 da estação de reciclagem do Estoril.

Figura 9 - Estação de reciclagem Estoril/SLU-PBH.



Fonte: Júnior (2005).

Na FIG. 9 é possível observar o material que já passou pela triagem, e está devidamente separado e classificado ser despejado no aterro através de esteiras.

A FIG. 10 apresenta o material que foi colhido nos canteiros de obras, ou em demolições, sendo despejado na estação, para posteriormente passar pela triagem.

Figura 10 - Material sendo despejado na estação de reciclagem Estoril/ SLU-PBH.



Fonte: Júnior (2005).

A FIG. 11 apresenta o material já triado na forma de bica corrida, na estação de reciclagem da Pampulha.

Figura 11 - Estação de reciclagem
Pampulha/ SLU-PBH.



Fonte: Júnior (2005).

O município absorve praticamente 100% do agregado produzido, sendo o maior desafio da gestão dos RCD em Belo Horizonte a expansão, ou seja, ampliar o alcance das estações e estender a intensidade da reciclagem.

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, realizou-se, em primeiro lugar, uma pesquisa bibliográfica, sobre a história da utilização dos resíduos da construção civil e demolição, em seguida ocorreu à obtenção do agregado reciclado de uma obra de demolição em Formiga - MG e foi feito o beneficiamento, onde o material foi coletado, separado e classificado, e após foram feitos ensaios laboratoriais para análise da viabilidade da adição do RCD no concreto.

Os agregados reciclados que foram utilizados neste trabalho são provenientes de uma obra de demolição na cidade de Formiga – MG.

Foram estabelecidos traços para determinar qual o teor ótimo de adição do RCD, a fim de avaliar qual traço seria o melhor para obtenção de melhores propriedades mecânicas no concreto. Com isso, foram confeccionados corpos de prova para realização de testes. Estes testes foram realizados para poder comparar as propriedades do concreto convencional, com o concreto com adições diferentes de RCD.

5.1 Materiais

Para o estudo da adição do RCD no concreto foi necessária à utilização dos seguintes materiais para a realização dos corpos de prova e dos ensaios:

- Cimento Portland CPV ARI;
- Água;
- Agregado miúdo: Areia;
- Agregado graúdo: Brita;
- Resíduo de construção civil e demolição.

Os traços foram determinados de acordo com a TAB. 3 que se encontra no tópico 5.2.2 Confeccção dos corpos de prova deste trabalho.

Foi utilizado o cimento Portland de alta resistência inicial (ARI), cimento nacional tipo CP V ARI MAX. Sua utilização se deu devido ao menor tempo de secagem, maior pureza e resistência inicial, isto porque, atinge elevadas resistências

em curtas idades o que proporciona as desformas das peças concretadas em menor intervalo de tempo.

O agregado miúdo utilizado foi a areia quartzosa, o material foi coletado no município de Formiga - MG. O agregado graúdo utilizado foi a brita granítica 1 coletada no município de Pains – MG, ambos foram devidamente lavados e colocados para secar.

O resíduo de construção civil e demolição utilizado foi coletado no município de Formiga – MG, proveniente de uma obra de demolição. Após a coleta do material foram realizadas a seleção e a retirada de impurezas. Somente a fração cerâmica do resíduo foi aproveitada. O beneficiamento do resíduo foi realizado na forma de triagem, onde o RCD foi separado e classificado, passando depois para a trituração manual do resíduo. O material passou pelo ensaio granulométrico para poder ser utilizado como agregado para o concreto.

A composição do resíduo pode ser vista na FIG. 12.

Figura 12 – Amostra do RCD coletado.



Fonte: O Autor (2015).

É possível observar grande percentual de material cerâmico em sua composição, seguido de concreto e argamassa, além de outros materiais em menores porcentagens.

5.2 Métodos

Os métodos utilizados foram:

- Cálculos;
- Dosagem;
- Preparo da argamassa;
- Confeção dos corpos de prova;
- Cura;
- Rompimento por: Ensaio de resistência à compressão.

Os métodos utilizados estão descritos no tópico 5.2.2 Confeção dos corpos de prova deste trabalho.

5.2.1 Caracterização dos materiais

Para atingir o objetivo do trabalho, analisar a influência da adição de resíduos gerados em obras de construções e demolições civis, em substituição parcial do agregado graúdo, fez se necessário, coletar, preparar e caracterizar os materiais a serem utilizados.

Foram determinadas as composições granulométricas dos agregados, seguindo as normas NBR 7217 (ABNT 1987) e NBR 7211 (ABNT 2009).

Após a coleta das amostras, as mesmas foram colocadas devidamente para secar em estufas, e o seu esfriamento foi em temperatura ambiente. Em seguida, encaixou as peneiras, previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com a abertura de malha em ordem crescente da base para o topo e foi colocada a primeira amostra na peneira.

Posteriormente as peneiras foram submetidas à agitação mecânica por um tempo razoável e necessário para fazer a classificação do material. Em seguida as peneiras são retiradas e é calculada a porcentagem retida do material em cada uma de acordo a massa inicial da amostra, obtendo assim a granulometria da amostra. Esse processo foi realizado em todas as amostras.

5.2.2 Confeção dos corpos de prova

A confeção dos corpos de prova foi dividida em: cálculo do traço, preparo da massa, moldagem do material, tempo de cura e rompimento.

Barboza e Bastos (2008, p. 5) realizaram um estudo sobre dosagens de concretos para pequenas obras (TAB. 4), e de acordo com estas dosagens foi possível realizar o cálculo do traço, que foi definido com resistência mínima aos 28 dias de 30 Mpa.

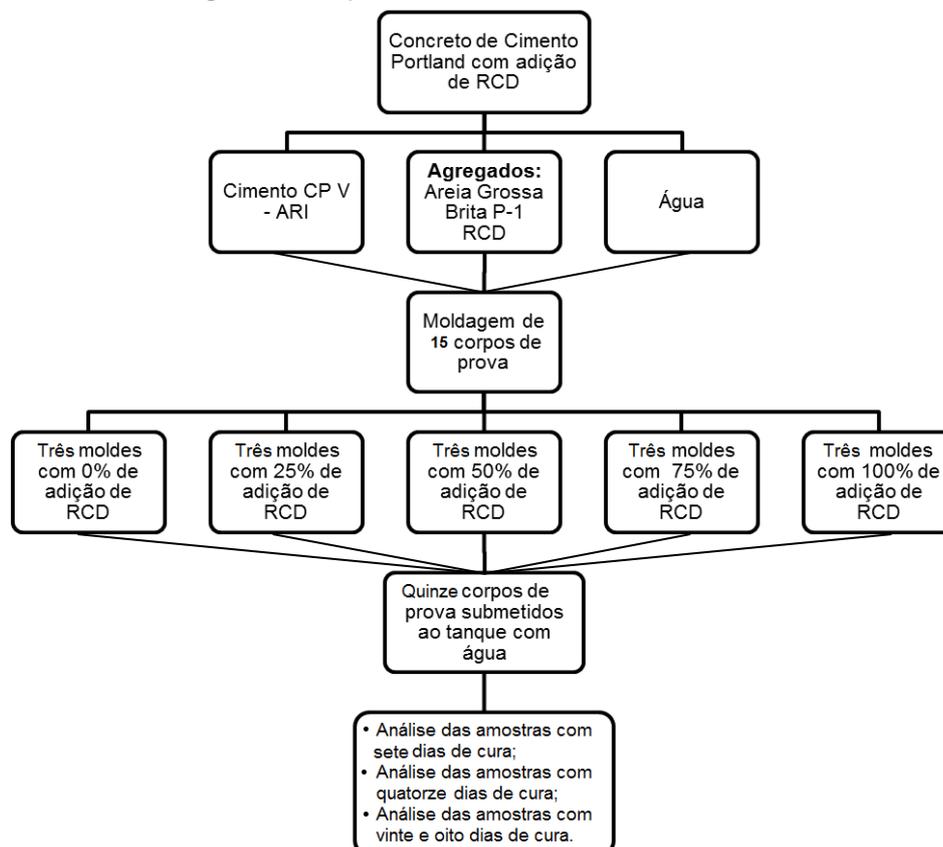
Tabela 4 - Traços de concreto com cimento CP V-ARI.

| Resistência de dosagem esperada (Mpa) na Idade (dias) | | | | TRAÇO EM MASSA | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|---------------------|-------------|-------------|--------------------------|---------------------|------------|------------|------------|--------------|
| | | | | Para 1kg de cimento | | | | Para 1 metro cúbico | | | | |
| 1 | 3 | 7 | 28 | Areia (Kg) | Pedra (Kg) | a/c | Aditivo (%) ¹ | Cimento (Kg) | Areia (Kg) | Pedra (Kg) | Água (Kg) | Aditivo (Kg) |
| 3 | 9 | 11 | 15 | 4,13 | 3,87 | 0,9 | 1,5 | 225 | 929 | 871 | 203 | 3,4 |
| 5 | 12 | 16 | 20 | 3,45 | 3,35 | 0,75 | | 265 | 914 | 888 | 199 | 4 |
| 10 | 18 | 22 | 25 | 2,9 | 2,95 | 0,65 | | 306 | 887 | 903 | 199 | 4,6 |
| 13 | 23 | 26 | 30 | 2,59 | 2,71 | 0,59 | | 337 | 873 | 913 | 199 | 5,1 |
| 14 | 26 | 30 | 35 | 2,31 | 2,49 | 0,54 | | 371 | 857 | 924 | 200 | 5,6 |
| 16 | 28 | 34 | 40 | 2,02 | 2,28 | 0,51 | | 408 | 824 | 930 | 208 | 6,1 |
| 18 | 30 | 36 | 45 | 1,79 | 2,11 | 0,48 | | 444 | 795 | 937 | 213 | 6,7 |
| 20 | 32 | 40 | 50 | 1,57 | 1,94 | 0,44 | | 487 | 765 | 945 | 214 | 7,3 |

*Sobre a massa de cimento (¹). *Resultados em cinza: valores utilizados como referência.
 Fonte: Barboza; Bastos (2008).

A FIG. 13 apresenta um fluxograma descrevendo os procedimentos do ensaio realizado.

Figura 13 – Fluxograma do procedimento adotado no ensaio.

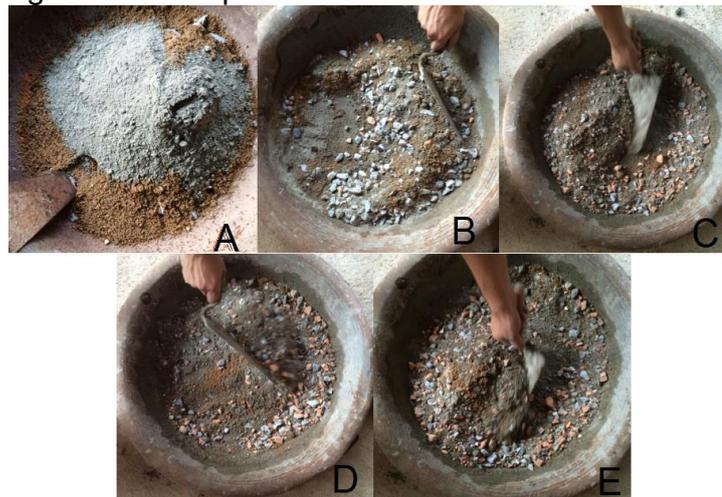


Fonte: O autor (2015).

A moldagem dos corpos de prova foi dividida da seguinte maneira:

- Cálculos: Foram realizados os cálculos para obtenção do traço de acordo com a TAB. 3, para concretos com 30 MPa aos 28 dias.
- Dosagem: Para a obtenção da dosagem foram utilizados os traços calculados anteriormente. Foram feitas cinco dosagens de concreto, sendo quatro dosagens com diferentes quantidades de RCD, e uma dosagem para concreto de referência. Essas dosagens foram divididas em três lotes, o primeiro lote com cura de três dias, o segundo lote com cura de sete dias e o terceiro lote com cura de vinte e oito dias.
- Preparo do concreto: O preparo do concreto foi realizado manualmente pelo autor, com a mistura dos materiais secos na seguinte ordem: agregados graúdos, agregados miúdos, cimento. Após a homogeneização foi colocada à água até a obtenção do concreto homogêneo. O processo foi realizado da mesma forma com os concretos com adição, o resíduo foi adicionado nas proporções definidas. A FIG. 14 a seguir retrata as misturas realizadas.

Figura 14 – Preparo do Concreto.



Fonte: O autor (2015).

A figura representa como foi feito o preparo do concreto, sendo (A) 0% de adição, (B) 25% de adição, (C) 50% de adição, (D) 75% de adição e (E) 100% de adição.

- Moldagem: Depois de verificar o abatimento, pegou - se os moldes cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura (FIG. 15).

A massa de concreto foi despejada nos moldes em três etapas. Conforme a norma NBR 5738/2008 para corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e adensamento manual, o número de golpes para o adensamento são definidos como 12 golpes. Esperou um dia de cura necessário para a realização da desmoldagem.

Figura 15 – Moldes.



Fonte: O Autor (2015).

Foram feitos 15 corpos de prova, sendo eles: 3 corpos de prova para o traço com 0 % de adição de RCD, 3 corpos de prova para o traço com adição de 25% de RCD, 3 corpos de prova para o traço com adição de 50% de RCD, 3 corpos de prova para o traço com adição de 75% de RCD, e por fim 3 corpos de prova para o traço com adição de 100% de RCD.

Figura 16 – Corpos de prova moldados



Fonte: O Autor (2015).

- Cura: Feito a desmoldagem, os corpos de provas foram submetidos a um tanque com água, pelo tempo de 24 horas (FIG. 17). Retirados da câmara

úmida os corpos de prova tiveram uma cura de acordo com suas idades a temperatura ambiente, sendo devidamente molhados. Não se devem realizar os testes com os corpos de provas úmidos, pois isso afeta resultados finais.

Figura 17 - Corpos de prova mergulhados no tanque com água.



Fonte: O autor (2015).

- Rompimento: Após o tempo de cura, foram realizados ensaios mecânicos de resistência à compressão para obtenção dos resultados.

5.2.3 Resistência à compressão

Os ensaios de compressão foram realizados por uma empresa, nas datas de 16 de setembro, 23 de setembro e 30 de setembro. Foram enviados para o ensaio 15 corpos de prova com tempo de cura de 7, 14 e 28 dias. Os corpos de prova foram devidamente colocados na prensa e submetidos à pressão. Seguindo os procedimentos determinados pela NBR 5739 (2007) realizou-se a limpeza das faces do corpo de prova e dos pratos da prensa.

Na sequência o corpo de prova foi cuidadosamente centralizado no prato inferior. Então iniciou o processo de ruptura, onde o carregamento foi aplicado continuamente e sem choques até a ocorrência da queda da força e ruptura do mesmo. Esse processo foi seguido durante a realização dos ensaios com todos os corpos de prova.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O seguinte trabalho teve como objetivo principal estudar a viabilidade do uso do resíduo da construção civil e demolição como agregado parcial para o concreto de referência.

O ensaio de granulometria será apresentado em gráficos, sendo que o relatório completo dos resultados encontra-se no ANEXO A deste trabalho.

O ensaio mecânico de resistência à compressão, devido a grande quantidade de corpos de prova e para melhor visualização dos resultados, também foi elaborado em gráficos e em seguida foi feita a sua análise, o relatório completo dos resultados encontra-se no ANEXO B deste trabalho.

6.1 Ensaio de granulometria

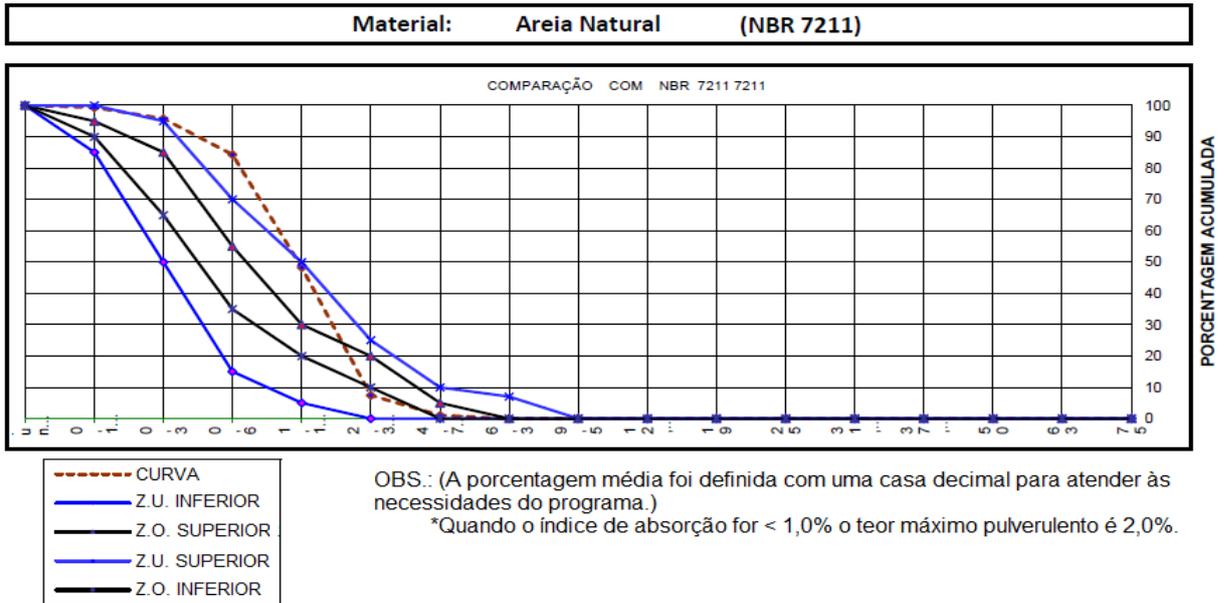
Os testes para os ensaios de granulometria foram realizados por uma empresa.

Foram realizados os ensaios para a areia quartzosa, brita granítica 1 e para o agregado RCD.

O agregado miúdo: areia de rio apresenta granulometria conforme o gráfico da FIG. 18, com os resultados abaixo, sendo que o relatório completo dos resultados encontra-se em ANEXO A.

De acordo com o gráfico da FIG. 18, conclui-se que o agregado miúdo classifica-se como areia grossa, pois o material está entre as peneiras de 0,15 mm a 4,75 mm. Observa-se que o diâmetro da areia foi inferior a 4,8 mm e que o D50 foi de aproximadamente 1,18 mm. Além disso, observa-se que a curva granulométrica da areia não está entre os limites estabelecidos pela norma NBR 7211.

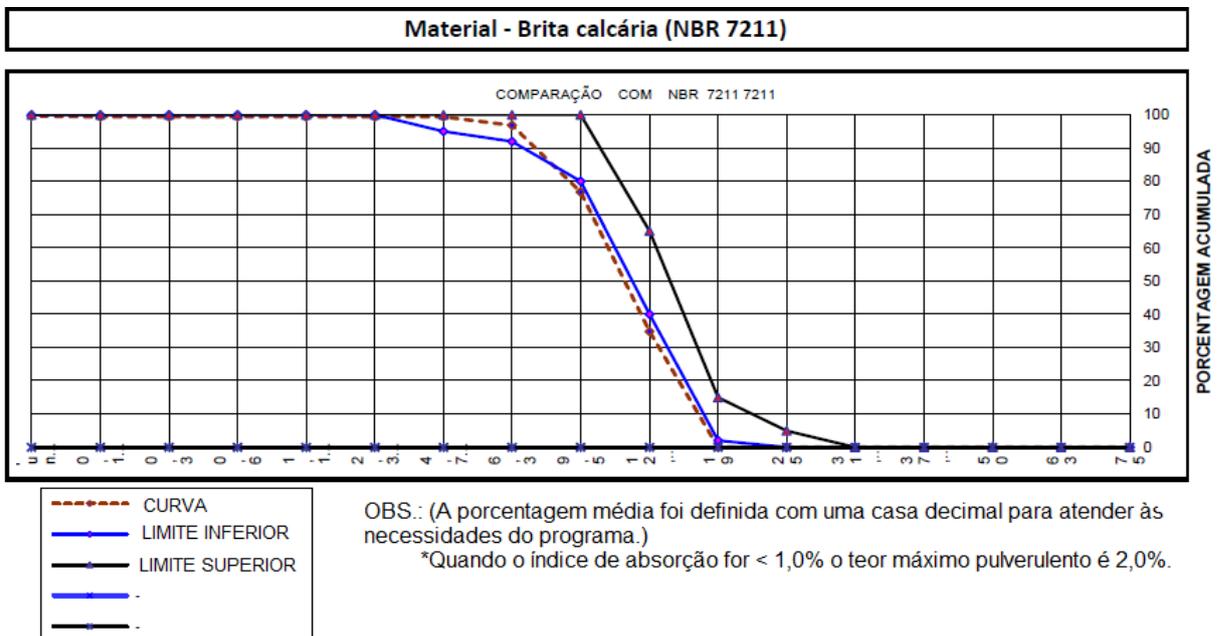
Figura 18 – Agregado miúdo: Análise granulométrica da areia por peneiramento.



Fonte: O autor (2015).

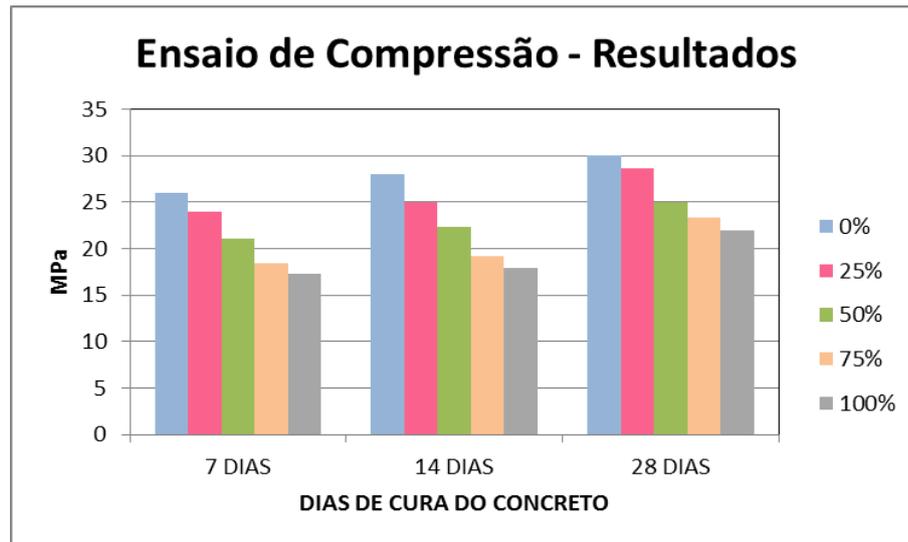
A análise granulométrica do agregado graúdo: brita calcária, está com os resultados apresentados no gráfico da FIG. 19, o relatório completo do ensaio está no ANEXO A. Com os resultados foi possível classificar o agregado como Brita 1, o diâmetro está compreendido entre as peneiras de 0,15 mm a 12,5 mm. O diâmetro da brita 1 foi inferior a 19 mm e o D50 foi de aproximadamente 9,5 mm.

Figura 19 – Agregado graúdo: Análise granulométrica da brita por peneiramento.



Fonte: O autor (2015).

Gráfico 1 – Resultados do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: O autor (2015).

Os resultados completos da análise encontram-se no ANEXO B deste trabalho.

6.3 Discussão

Com a análise do ensaio de resistência à compressão, podemos verificar os resultados de cada adição do resíduo.

A porcentagem de 0% representa o concreto de referência, por isso, para a análise da resistência das outras porcentagens, foram utilizados os valores de 0% para as comparações. Analisando o gráfico nota-se que o concreto de referência apresentou valores de resistência à compressão superior aos demais tipos de concreto em todas as idades.

Para a porcentagem de 25%, observa-se que a adição do resíduo na forma de agregado, aos 7 e 28 dias de cura, apresenta uma resistência bem próxima da resistência do concreto de referência, ou seja, essa substituição se torna viável.

Para a adição de 50%, a resistência encontrada mais baixa do que o concreto de referência.

A adição de 75% do resíduo como agregado apresentou valores bem aproximados aos 7 e aos 14 dias, aumentando a resistência aos 28 dias, mas, apesar disso, em relação ao concreto de referência, a resistência foi baixa.

Na adição de 100% do resíduo como agregado, apesar da resistência ter aumentado com o tempo de cura, ela foi muito inferior à resistência do concreto de referência.

Com as análises feitas, é possível perceber que embora a adição do resíduo nas diversas porcentagens ter diminuído a resistência à compressão, a adição de 25% do resíduo na forma de agregado, torna-se viável.

Uma possível explicação para a diminuição da resistência à compressão nas demais porcentagens seria a natureza do próprio agregado, uma vez que a brita é granítica e provavelmente apresenta resistência mecânica superior ao RCD, outro fator que pode ser levado em consideração é o tamanho do RCD, uma vez que apresentou tamanho inferior ao estipulado pela NBR 7211 para agregado graúdo.

O resíduo de construção civil e demolição é um material heterogêneo, cuja natureza é diferente, composto por elementos, irregulares, desiguais e distintos, o que pode comprometer a qualidade final do concreto.

Algumas literaturas, dissertações e teses, trazem o resíduo como um excelente agregado para o concreto, em diferentes porcentagens, isto se dá ao fato de que em cada local o material é de um jeito, com composições diferentes. De uma cidade para outra já é possível observar a diferença de resíduo, o mesmo se dá de um estado para outro, isto ocorre devido à cultura da construção em cada lugar.

“É possível concluir que o uso do agregado reciclado no concreto, em proporções convenientemente dosadas, não afeta a resistência à compressão.” (VIEIRA; MOLIN; LIMA, 2004, p.17).

“Quando se substitui o agregado natural por 20% de agregado reciclado de concreto ou de alvenaria, o sólido resultante apresentou o mesmo desempenho e, por vezes, até melhor comportamento que o concreto de referência.” (LEVY, 2006, p.382).

Como agregado para a pavimentação é um material muito usado, devido às propriedades físicas e mecânicas do material. O RCD é um material de fácil trabalhabilidade para a pavimentação e há uma crescente no uso do reciclado.

“A utilização do resíduo de construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto torna-se uma técnica viável quando aplicada como base de fundações superficiais, aumentando a capacidade de suporte e reduzindo os recalques.” (FERREIRA; THOMÉ, 2011, p.11).

“As misturas podem ser utilizadas como sub-base (50%/50% e 70%/30%) ou reforço de subleito (30%/70%) conforme os limites impostos pela NBR 15115 (2004), havendo assim uma considerável melhora.” (HORTEGAL; FERREIRA; SANT’ANA, 2009, p.73).

7 CONCLUSÃO

A melhor maneira para reduzir o impacto ambiental causado pelos resíduos é estudar uma maneira para sua reciclagem e reutilização.

Conforme as considerações feitas, foi possível concluir que o uso do resíduo na forma de agregado no concreto, na proporção de 25%, não afeta a resistência à compressão. Entretanto, devido o RCD ser um material heterogêneo, com composições muito diferentes, é imprescindível que o resíduo tenha um tratamento primário adequado, desde o beneficiamento e caracterização, até a sua utilização no concreto. Desta forma, o resíduo fica com suas propriedades conhecidas e sua utilização não fica limitada.

Desta forma conclui-se que a utilização do resíduo como substituto parcial do agregado natural torna-se uma alternativa.

REFERÊNCIAS

ADDIS, Bill. **Reúso de materiais e elementos de construção**. Oficina de Textos, São Paulo, 2010.

AE, Agência Estado. Prefeitura de SP conclui demolição do Edifício São Vito. **Ultimo segundo Brasil**. [S.l.] Mai/2011. Disponível em: <http://ultimosegundo.ig.com.br/brasil/sp/prefeitura+de+sp+conclui+demolicao+do+edificio+sao+vito/n1300144017973.html> . Acesso em 20 mar. 2015

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Resíduos da Construção e Demolição**. Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Portugal, Out./2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

_____. **NBR 5738**: Concreto – procedimento de moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2008.

_____. **NBR 5739**: Ensaios de compressão de corpos - de – prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro. 2009.

_____. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. Rio de Janeiro: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – **Abrecon**. São Paulo, SP. Disponível em: <http://www.abrecon.org.br/Conteudo/8/Aplicacao.aspx>. Acesso em 15 mai. 2015.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil. Bauru, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n°. 307, de 02 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasil, 05 de jul./2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 10 mar. 2015.

BRAVO, M.; BRITO, J.; MÁLIA, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construções residenciais novas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 117 – 130, jul./set. 2011.

CAMPOS, P. B.; TAVARES, C. R. G. Avaliação de métodos de quantificação e caracterização de resíduos de construção civil. **Simpósio acadêmico de engenharia de produção – SAEPRO**, 8., Viçosa – MG, p. 1 – 12, nov./2013.

FAGURY, S. C., GRANDE, F. M. Gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP. **Exacta**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 35 - 45, jan./jun. 2007.

FERREIRA, M. C., THOMÉ, A. Utilização de resíduo da construção e demolição como reforço de um solo residual de basalto, servindo como base de fundações superficiais – Passo Fundo, RS. **Teoria e prática na engenharia civil**. Passo Fundo, n. 18, p. 1 – 12, nov./2011.

FERNANDES, G. C. **Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em pavimentação**. Tese (Pós Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

HORTEGAL, M. V., FERREIRA, T. C., SANT'ANA, W. C. Utilização de agregados resíduos sólidos da construção civil para pavimentação em São Luís – MA. **Pesquisa em foco**, v. 17, n. 2, p. 60 - 74, 2009.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

JUNIOR, L. A. J. **Proposta de metodologia de gestão de fluxo de materiais e energia na construção de canteiros de obra**. Tese (Mestrado) – Universidade Positivo, Curitiba, 2009.

JÚNIOR, N. B. C. (Coord.). **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil - SINDUSCON – MG**. Belo Horizonte, 2005.

LEITE, F. C. **Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Tese (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2007.

LEVY, S. M. Produzindo concretos ecologicamente e politicamente corretos. **Exacta**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 375 – 384, jul./dez. 2006.

_____. Materiais reciclados na construção civil. In: **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. cap. 49, p.1629 - 1657.

LUZ, H.R.I.; PULTER, L. M. J.; TAMURA, C. O desenvolvimento da sociedade e a gestão de seus resíduos. In: CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE

ADMINISTRAÇÃO, 5., 2008, [S.l.]. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.convibra.com.br/artigos.asp?opc=2&ev=22&lang=pt&busca=O+desenvolvimento+da+sociedade+e+a+gest%E3o+de+seus+res%EDduos&B2=Buscar>>. Acesso em: 20 maio 2015.

MIRANDA, L. F. R.; ANGULO, S. C.; CARELI, E. D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986 – 2008. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 57 – 71, jan./mar. 2009.

PAIVA, Paulo Antonio; RIBEIRO, M. S. A reciclagem na construção civil: como economia de custos. **REA - Revista Eletrônica de Administração** (Franca online). São Paulo, v. 4, p. 1-15, 2005.

PINTO, T. P., GONZÁLES, J. L. R. (Coord.). **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil**. Brasília, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado em Engenharia da Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1999.

SANSÃO, J. H. **Gerenciamento de resíduos de construção civil e demolição na cidade de Juiz de Fora – MG - (Dicas para construtores e projetistas)**. Tese (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, 2009.

SANTANA, V. M. et al. Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais. In: XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós Graduação, ed. XV. **Anais do XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós Graduação**. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

TÉCHNE. **Reciclagem: uso de resíduos da construção**. Revista Téchné: a revista do engenheiro civil, São Paulo: Editora Pini, n. 55, p. 58-61, Out./ 2001.

VAZ, V. A. et al. **Manual de normatização de trabalhos acadêmicos**. Formiga, ed. 5, 2014.

VIEIRA, G. L., MOLIN, D. C. C., LIMA, F. B. Resistência e durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição. **RepositóriUM**, n.19. Portugal, 2004.

VISA CONSULTORES. **Unidades de triagem e valorização de RCD**. Portugal. Disponível em: <<http://visaconsultores.pt/servicos.php?cat=11&code=50>>. Acesso em: 29 maio 2015.

VOLTOLINI, L. Em São Paulo, destroços do prédio São Vito viram base para pavimentação de vias. **Infraestrutura urbana**, [S.l.], ed. 9, Nov./2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/9/artigo241032-1.aspx>> . Acesso em: 20 mar. 2015.

WIENS, I. K., HAMADA, J. Gerenciamento de resíduos da construção civil – uma introdução à legislação e implantação. In: **XII SIMPEP**, Bauru, SP, nov./2006.

CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADO

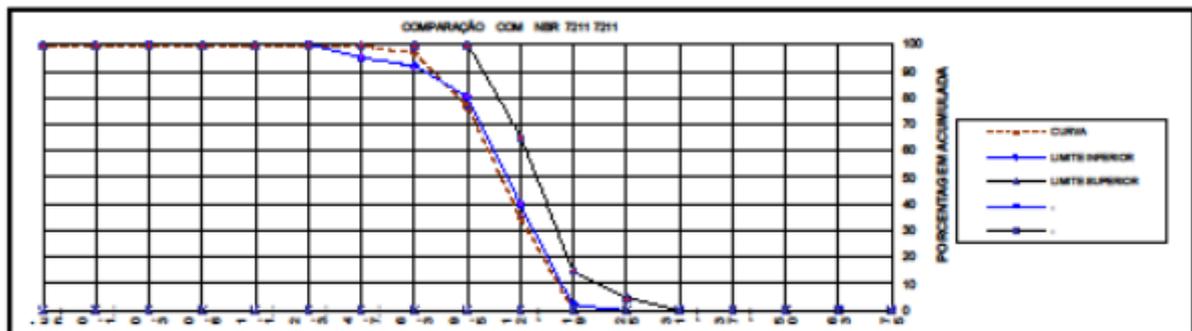
| | | | |
|-------------|----------------------|-------------|----------|
| UNIDADE | I - Candeias / MG | CERTIFICADO | 01-2015 |
| NORMA | ABNT NBR 7211 / 2009 | DATA | 01/09/15 |
| MATERIAL | Brita granítica | COLETA | |
| PROCEDÊNCIA | | NF Nº | |

| GRANULOMETRIA (NBR7211) | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|----|-------------------|------|-------|-------|
| Peneira (mm) | Peso retido (g) | | Quantidade Retida | | | |
| | M1 | M2 | M1 | M2 | MÉDIA | ACUM. |
| 75 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 63 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 50 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 37,5 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 31,5 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 25 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 19 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 12,5 | 430 | 0 | 34,8% | | 34,8% | 35% |
| 9,5 | 518 | 0 | 41,9% | | 41,9% | 77% |
| 6,3 | 248 | 0 | 20,1% | | 20,1% | 97% |
| 4,75 | 31 | 0 | 2,5% | | 2,5% | 99% |
| 2,36 | 4 | 0 | 0,0% | | 0,0% | 99% |
| 1,18 | 0 | 0 | 0,0% | | 0,0% | 99% |
| 0,6 | 0 | 0 | 0,0% | | 0,0% | 99% |
| 0,3 | 0 | 0 | 0,0% | | 0,0% | 99% |
| 0,15 | 0 | 0 | 0,0% | | 0,0% | 99% |
| Fundo | 4 | 0 | 0,3% | | 0,3% | 100% |
| Total | 1235 | 0 | 100,0% | | 100% | |
| Módulo de Finura | 6,73 | | Diâmetro Máximo | 19,0 | | |

| ENSAIO | RESULTADOS | |
|----------------------------|------------|--------------------|
| Massa Unitária (NBR 7251) | - | kg/dm ³ |
| Massa Esp. (sss) (NM 52) | - | kg/dm ³ |
| Massa Esp. (s) (NM52) | - | kg/dm ³ |
| Absorção (NM52) | - | % |
| Torrões de Arg. (NBR 7218) | - | % |
| Mat. Pulverulento (NM 46) | - | % |
| Imp. Orgânicas (NM 49) | < | 300p.p.m. |
| Ab. Los Angeles (NM 51) | 0 | % |

| LIMITES (NBR 7211) | | |
|-----------------------|------|------------|
| AGREGADO MIÚDO | | |
| Torrões de Argila | 3,0 | % |
| Material Pulverulento | 3 | % |
| | 5 | % |
| Impureza Orgânica | < | 300 p.p.m. |
| AGREGADO GRAUÍDO | | |
| | 1,0 | % |
| Torrões de Argila | 2,0 | % |
| | 3,0 | % |
| Material Pulverulento | 1,0 | % |
| | 2,0* | % |

Material - Brita calcária (NBR 7211)



OBS.: (A porcentagem média foi definida com uma casa decimal para atender às necessidades do programa.)

* Quando o Índice de absorção for $\leq 1,0\%$ o teor máximo de pulverulento é 2,0%

CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADO

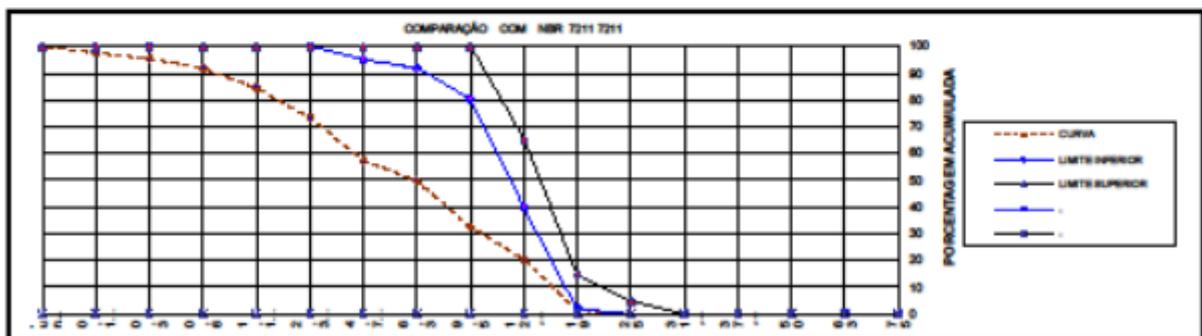
| | | | |
|-------------|-----------------------------|-------------|----------|
| UNIDADE | - Candeias / MG | CERTIFICADO | 01-2015 |
| NORMA | ABNT NBR 7211 / 2009 | DATA | 01/09/15 |
| MATERIAL | Resíduo da construção civil | COLETA | |
| PROCEDÊNCIA | | NF Nº | |

| GRANULOMETRIA (NBR7211) | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|----|-------------------|------|-------|-------|
| Peneira (mm) | Peso retido (g) | | Quantidade Retida | | | |
| | M1 | M2 | M1 | M2 | MÉDIA | ACUM. |
| 75 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 63 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 50 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 37,5 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 31,5 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 25 | 0 | 0 | | | | 0% |
| 19 | 14 | 0 | 1,4% | | 1,4% | 1% |
| 12,5 | 190 | 0 | 18,9% | | 18,9% | 20% |
| 9,5 | 124 | 0 | 12,3% | | 12,3% | 33% |
| 6,3 | 173 | 0 | 17,2% | | 17,2% | 50% |
| 4,75 | 76 | 0 | 7,5% | | 7,5% | 57% |
| 2,36 | 162 | 0 | 16,1% | | 16,1% | 73% |
| 1,18 | 112 | 0 | 11,1% | | 11,1% | 85% |
| 0,6 | 73 | 0 | 7,2% | | 7,2% | 92% |
| 0,3 | 37 | 0 | 3,7% | | 3,7% | 95% |
| 0,15 | 21 | 0 | 2,1% | | 2,1% | 98% |
| Fundo | 25 | 0 | 2,5% | | 2,5% | 100% |
| Total | 1007 | 0 | 100,0% | | 100% | |
| Módulo de Finura | 5,34 | | Diâmetro Máximo | 19,0 | | |

| ENSAIO | RESULTADOS | |
|----------------------------|------------|--------------------|
| Massa Unitária (NBR 7251) | - | kg/dm ³ |
| Massa Esp. (sss) (NM 52) | - | kg/dm ³ |
| Massa Esp. (s) (NM52) | - | kg/dm ³ |
| Absorção (NM52) | - | % |
| Torrões de Arg. (NBR 7218) | - | % |
| Mat. Pulverulento (NM 46) | - | % |
| Imp. Orgânicas (NM 49) | < | 300p.p.m. |
| Ab. Los Angeles (NM 51) | 0 | % |

| LIMITES (NBR 7211) | | |
|-----------------------|------|------------|
| AGREGADO MIÚDO | | |
| Torrões de Argila | 3,0 | % |
| Material Pulverulento | 3 | % |
| | 5 | % |
| Impureza Orgânica | < | 300 p.p.m. |
| AGREGADO GRAUÍDO | | |
| Torrões de Argila | 1,0 | % |
| | 2,0 | % |
| | 3,0 | % |
| Material Pulverulento | 1,0 | % |
| | 2,0* | % |

Material - Brita calcária (NBR 7211)



OBS.: (A porcentagem média foi definida com uma casa decimal para atender às necessidades do programa.)

* Quando o Índice de absorção for $\leq 1,0\%$ o teor máximo de pulverulento é 2,0%

