

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO PAULO SILVA FARIA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS
ORIGINÁRIOS DO BENEFICIAMENTO DE ENTULHOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO PARA APRIMORAMENTO DO CONCRETO.**

FORMIGA – MG

2017

JOÃO PAULO SILVA FARIA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS
ORIGINÁRIOS DO BENEFICIAMENTO DE ENTULHOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO PARA APRIMORAMENTO DO CONCRETO

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

Orientadora: Prof.^a Esp. Mariana
Del Hoyo Sornas

FORMIGA – MG

2017

F224 Faria, João Paulo Silva.

Estudo de viabilidade técnica utilizando agregados reciclados originários do beneficiamento de entulhos de construção e demolição para aprimoramento do concreto / João Paulo Silva Faria. – 2017.

75 f.

Orientadora: Mariana Del Hoyo Sornas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-
Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Concreto. 2. Reciclagem. 3. RCD. I. Título.

CDD 628.4

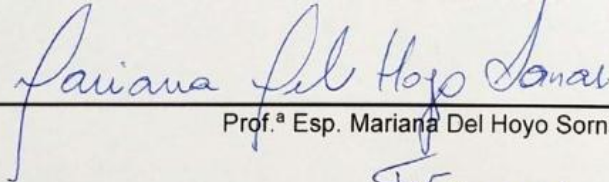
João Paulo Silva Faria

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA UTILIZANDO AGREGADOS RECICLADOS
ORIGINÁRIOS DO BENEFICIAMENTO DE ENTULHOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO PARA APRIMORAMENTO DO CONCRETO

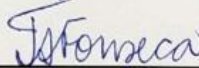
Trabalho de conclusão de curso,
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil do UNIFOR – MG,
como requisito para obtenção do
título de bacharel em Engenharia
Civil.

Orientadora: Prof.^a Esp. Mariana
Del Hoyo Sornas

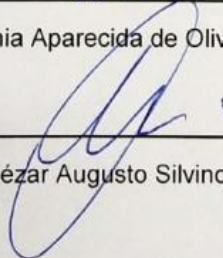
BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas



Prof.^a M.^a Tânia Aparecida de Oliveira Fonseca



Prof.^o M.e César Augusto Silvino Figueiredo

Formiga, 27 de outubro de 2017

Dedico este trabalho aos meus pais, meus irmãos, amigos, colegas de trabalho, professores e a todos aqueles que, de alguma forma, me incentivaram e ajudaram para que fosse possível a concretização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me guiar, me proteger, me dar saúde, fé e esperança para superar cada obstáculo encontrado na minha caminhada.

Aos meus pais e irmãos, pelo amor incondicional, persistência, apoio e confiança.

A toda minha família, em especial meus avós, pelo carinho e palavras de incentivo.

A Prof.^a Esp. Mariana Del Hoyo Sornas, pela dedicação, atenção, amizade, competência e constante presença durante toda a execução deste trabalho.

A todos os professores, pela sabedoria e o dom de compartilhar os seus conhecimentos de forma clara e satisfatória durante minha formação acadêmica.

A todos meus amigos, que junto a mim, vivenciaram e compartilharam momentos tão importantes em minha vida.

Aos meus companheiros de trabalho, que contribuíram de maneira sistemática para que eu me tornasse um profissional exemplar.

A todos do UNIFOR – MG, pela atenção e trabalho árduo, cada um à sua maneira contribuiu para que sonho tornasse realidade.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho, o meu muito obrigado.

RESUMO

A geração de resíduos na construção civil pode ser reduzida, porém exterminá-la definitivamente é algo extremamente difícil de acontecer. Estes rejeitos habitualmente são descartados sem controle, ocasionando impedimento de vias, entupimento de bocas coletoras entre outros fatores prejudiciais ao meio ambiente e até mesmo a degradação da qualidade de vida da população no meio urbano. Este trabalho teve como objetivo principal, realizar um paralelo entre concreto com remanescentes de construção e demolição e concreto convencional, a fim de explanar indagações a respeito de um tema tão pouco difundido no país. Com intuito de apresentar a viabilidade técnica do uso deste tipo de material foram realizados, então, ensaios como o *Slump Test* e ensaio de compressão, nos quais ficou detectado que o concreto reciclado pode ser utilizado em alguns processos na indústria da construção.

Palavras - chave: Concreto. Resíduos. Reciclagem.

ABSTRACT

The generation of waste in construction can be reduced, but exterminating it is definitely extremely difficult to do. These wastes are usually discarded without control, causing roadblocks, clogging of collecting mouths among other factors detrimental to the environment and even the degradation of the quality of life of the population in the urban environment. This work had as main objective, to carry out a parallel between concrete with remnants of construction and demolition and conventional concrete, in order to explain questions about a subject so little spread in the country. In order to present the technical feasibility of the use of this type of material, tests such as Slump Test and compression test were carried out where it was detected that recycled concrete can be used in some processes in the construction industry.

Keywords: Concrete. Waste. Recycling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aqueduto Pont du Gard	16
Figura 2 - Cimento Portland	17
Figura 3 - Tipos de agregados: A – brita 0, B – brita 1, C – brita 2, D – brita 4, E – areia fina, F – areia grossa	21
Figura 4 - Concreto Fresco.....	22
Figura 5 - Equipamento para o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone	25
Figura 6 - Entulho urbano.....	31
Figura 7 - Entulho urbano.....	32
Figura 8 - Resíduos misto	34
Figura 9 - Material espalhado para triagem manual	35
Figura 10 - Material triado disposto no alimentador	35
Figura 11 - Rachão.....	36
Figura 12 – Esteiras	37
Figura 13 - Agregados reciclados: A - brita 1, B - areia grossa.....	48
Figura 14 - Agregados para concreto convencional: A - areia, B - brita	49
Figura 15 - Cimento Portland	49
Figura 16 - Concreto utilizado nos ensaios	50
Figura 17 - Balança de precisão.....	51
Figura 18 - Prensa de compressão	52
Figura 19 - Equipamento para Slump Test.....	53
Figura 20 - Balança de precisão.....	54
Figura 21 - <i>Slump Test</i>	56
Figura 22 - Moldes de PVC	57
Figura 23 - Corpo de prova em molde.....	57
Figura 24 - corpo de prova a ser rompido	58
Figura 25 - Concreto fresco com 100% de agregados reciclados	62
Figura 26 - Corpos de prova após rompimento	67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo geral.....	13
2.2. Objetivos específicos.....	13
3. JUSTIFICATIVA	14
4. REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1. História do concreto.....	15
4.2. Materiais empregados na execução do concreto.....	16
4.2.1. Cimento <i>Portland</i>	16
4.2.2. Agregados	20
4.2.3. Água	22
4.3. Propriedades do concreto fresco	22
4.3.1. Trabalhabilidade.....	23
4.3.2. Tempo de Pega.....	25
4.3.3. Coesão	26
4.4. Propriedades do Concreto Endurecido.....	26
4.4.1. Características Físicas	26
4.4.2. Resistência Mecânica	27
4.4.3. Durabilidade	28
4.4.4. Estabilidade dimensional	30
4.5. Resíduos de Construção e Demolição (RCD)	30
4.6. Agregados Reciclados e Seu Beneficiamento.....	33
4.6.1. Classificação	38
4.6.1.1. Vantagens e desvantagens da utilização de agregado reciclado.....	39
4.6.2. Propriedades dos agregados reciclados utilizados no preparo de concreto	40
4.6.2.1. Massa específica.....	43
4.6.2.2. Trabalhabilidade	43
4.6.2.3. Resistência à compressão	44
4.6.2.4. Módulo de deformação.....	45
4.6.2.5. Durabilidade	45
5. MATERIAL E MÉTODO	47
5.1. Materiais.....	47

5.2. Método	53
5.2.1. Dosagem	53
5.2.2. Produção do concreto	54
5.2.3. Ensaio de abatimento de tronco de cone ou <i>Slump Test</i>	55
5.2.4. Preparação e cura dos corpos de prova	56
5.2.5. Ensaio de resistência à compressão axial do concreto	58
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
6.1. Concreto no estado fresco	61
6.2. Concreto no estado endurecido	62
7. CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS	72

1. INTRODUÇÃO

O consumo de recursos naturais tem crescido de forma desordenada, conforme cresce e se desenvolve a população mundial. Esse cenário há algum tempo, tem despertado em diversos lugares uma busca sistemática por medidas corretivas.

Sendo a construção civil responsável pelo maior consumo desses recursos e também a maior geradora de resíduos no ambiente urbano. Comissões a frente desta área criaram medidas para tentar solucionar o problema. (PINTO, 1999)

Uma delas foi a implantação de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD). Presente ainda em poucas cidades brasileiras, estas usinas vieram a solucionar problemas como o despejo de entulho em lugares irregulares e a exploração excessiva de recursos naturais, por exemplo. Outra questão é que, mesmo o país passando por uma crise econômica considerável, o ramo da construção civil não estagna. Logo a utilização de concreto só aumenta.

Para evitar a extinção de jazidas de agregados naturais com o uso excessivo de concreto e outros produtos, fontes alternativas, como os agregados reciclados produzidos a partir da reciclagem de RCD, são usadas para substituir o agregado natural na produção de concreto e demais produtos.

Diante do exposto, este trabalho expõe uma alternativa de reciclagem de resíduos, geralmente descartado ilegalmente, verificando sua viabilidade técnica no uso em concreto. Tornando possível a averiguação das características deste material quando advindo de processos de reciclagem comparando-o com o concreto convencional.

2. OBJETIVOS

Esta seção destina – se a apresentar os objetivos do vigente trabalho, sendo eles divididos em objetivo geral e objetivos específicos conforme descritos a seguir.

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar as características e propriedades do concreto utilizando agregados reciclados em substituição parcial aos agregados naturais.

2.2. Objetivos específicos

Para atender o objetivo geral, sugerem-se os seguintes objetivos específicos:

- Coletar e identificar as procedências dos agregados reciclados para a fabricação do concreto.
- Comparar o concreto convencional com o concreto reciclado, com substituição parcial dos agregados reciclados (em %), sendo analisado a consistência e a resistência a compressão em dias diferentes.
- Determinar a idade do concreto para análise de resistência à compressão será de 28 dias. E as proporções de resíduos de construção e demolição (RCD) e agregados naturais, tanto para o *Slump Test* quanto para o ensaio de resistência.
- Analisar e comparar se o concreto feito com resíduos de construção e demolição atende as expectativas quando comparado ao concreto convencional.

3. JUSTIFICATIVA

A urbanização tem crescido em um ritmo expressivo nas últimas décadas o que leva conseqüentemente ao aumento no setor da construção civil, não só em construções novas, mas também reformas, demolições, escavações, reparos, entre outros. Com isso a geração de resíduos tem despertado uma preocupação muito grande a ambientalistas e demais pessoas e órgãos envolvidos.

A construção civil, atualmente no Brasil, é a maior geradora de resíduo na sociedade e este, na sua maioria, é descartado em lugares ilegais como terrenos baldios, vias públicas e áreas de preservação ambiental causando alguns problemas como o déficit na qualidade de vida populacional, escassez das reservas naturais de agregados, poluição atmosférica devido a extração, processamento e transporte deste material, etc.

A partir disso o estudo a respeito da reciclagem de resíduos de construção e demolição como matéria prima tem se tornado mais presente na sociedade, pois além de benefícios ambientais o custo do material reciclado é menor que o natural.

Tendo tudo isso em vista, este trabalho apresentará uma revisão bibliográfica a respeito dos tópicos principais dentro do tema, além de apresentar ensaios laboratoriais mostrando a resistência do concreto utilizando agregados advindos da reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) deixando claro, assim, sua viabilidade para uso.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção foram abordados os principais temas relevantes para a elaboração do trabalho. Através do embasamento teórico obtido por meio de pesquisa em literaturas existentes, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos acadêmicos e experimentos já realizados.

4.1. História do concreto

Os primeiros materiais a serem empregados nas construções antigas foram a pedra natural e a madeira, por estarem disponíveis na natureza. O ferro, o aço e o concreto só foram empregados nas construções séculos mais tarde. (MEHTA E MONTEIRO, 2008)

Os romanos já usavam a cal como aglomerante desde 600 a.C. mas a grande descoberta que alavancou a engenharia romana e possibilitou dotar as cidades dessa infraestrutura um novo material de construção: o *Opus Caementicium*, cujo componente principal era uma cinza pozolânica que misturada à argamassa de cal produzia um material de características semelhantes ao cimento atual. (CARVALHO, 2008)

Algumas obras importantes foram feitas utilizando esse novo material. São exemplos: o aqueduto Pont du Gard, o Pantheon, grande parte das construções do Fórum Romano, o Coliseu, as famosas Termas e Banhos Romanos (as Termas de Diocleciano, a maior de todas, tinha 140000 m², a Basílica de Constantino, além de várias estradas, aquedutos e prédios. (CARVALHO, 2008)

A FIG. 1 apresenta o aqueduto Pont du Gard, símbolo do poder da civilização romana.

Figura 1 - Aqueduto Pont du Gard



Fonte: Bunder, 2016

No século XIX ocorreu a descoberta do concreto de cimento *Portland* na forma em que é empregado atualmente. Contudo, foi no século posterior que esse material foi amplamente aplicado, necessitando – se, assim, de avanço nos estudos de controle tecnológico e dosagem do concreto. (HELENE E ANDRADE, 2010)

Em 1904 a Associação Germânica de Arquitetos e Engenheiros juntamente com a Associação Alemã do Concreto iniciaram o projeto preliminar de normalização para dimensionamento, execução e ensaio de estruturas de concreto armado que se tornaram base para a regulamentação que logo depois foi promulgada pelo governo da Prússia (KAEFER, 1998).

4.2. Materiais empregados na execução do concreto

Neste tópico foram apresentados os materiais utilizados para que o concreto seja produzido, bem como suas obtenções.

4.2.1. Cimento *Portland*

Segundo a Associação Brasileira de Cimento *Portland* (2002) “o cimento *Portland* é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido a ação da água, o cimento *Portland* não se decompõe mais. ” A FIG. 2 representa a estrutura física do cimento *Portland*.

Figura 2 - Cimento Portland



Fonte: Revista Técnica, 2014

O cimento *Portland* é obtido pela moagem de clínquer ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto forno e/ou materiais carbonáticos (ABNT – NBR 11578).

O clínquer é resultante da calcinação até aproximadamente 1450°C de uma mistura adequada de calcário e argila e, eventualmente de componentes corretivos de natureza silicosa, aluminosa ou mesmo ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo da mistura dentro de limites específicos (KIHARA et al, 1990 apud CENTURIONE, 1993).

Segundo RIGO (1998), a mineralogia do clínquer é muito complexa, apesar de ser formada basicamente por quatro fases: C_3S alita, C_2S belita, C_3A celita e C_4AF brownmillerita (conhecido na indústria do cimento por ferrita). Conforme o QUADRO 1, que demonstra a composição do clínquer.

Quadro 1 – Composição do Clínquer

Silicatos de Cálcio	Aluminatos de Cálcio
C ₃ S (Alita- Silicato tricálcico 3CaO – SiO ₂)	C ₃ A (aluminato tricálcico 3CaO –Al ₂ O ₃)
C ₂ S (Belita -Silicato dicálcico 2CaO – SiO ₂)	C ₄ AF (ferroaluminato de cálcio 4CaO - Al ₂ O ₃ - Fe ₂ O ₃)

Fonte: RIGO (1998)

De acordo com Silva (2005), a Alita representa entre 40 e 70% da massa do clínquer e reage rapidamente com a água, tornando – a responsável pelo desenvolvimento da resistência mecânica nos primeiros 28 dias. Já a Belita constitui de 15 a 45% do clínquer. Sendo menos reativa que a Alita, esta contribui para as resistências após 28 dias.

O aluminato tricálcico abrange 1 a 15% do clínquer preenchendo a área entre os cristais de ferrita, além de ser mais reativo com a água. A ferrita compreende entre 0 e 18% do clínquer e é responsável pela resistência mecânica nas primeiras idades (SILVA, 2005).

É importante ressaltar também que, a gipsita é adicionada ao cimento em proporções de 2 a 5% pois, esta faz com que a pega da pasta de cimento durante as reações de hidratação não ocorra de forma ágil. Caso esse elemento não fosse utilizado, a pega ocorreria em aproximadamente 10 minutos, tornando inviável a maioria das aplicações do concreto (ISAIA, 2011 apud FARIA, 2016).

Adições minerais podem ser feitas ao cimento como uma opção de acréscimo ou substituição parcial do cimento, pois apresentam características semelhantes a esse material. Segundo a ABNT NBR 11768 (1992) são exemplos dessas adições:

- Escórias de alto – forno: obtidas durante a produção de ferro – gusa nas siderúrgicas, tem a propriedade de ligante hidráulico muito resistente, o seja, reagem em presença de água, desenvolvendo características aglomerantes de forma muito semelhante à do clínquer. Seu uso apresenta melhorias como maior durabilidade e maior resistência final.
- Materiais Pozolânicos: são rochas vulcânicas ou matérias orgânicas fossilizadas encontradas na natureza, certos tipos de argilas queimadas em elevadas temperaturas (550°C a 900°C) e derivados da queima de carvão

mineral nas usinas termelétricas, entre outros. Apresenta propriedades de ligante hidráulico quando combinado com o clínquer e em presença de água. Sua vantagem é que oferece maior impermeabilidade.

- **Materiais Carbonáticos:** rochas moídas que apresentam carbonato de cálcio em sua composição. Tal adição torna os concretos e argamassa mais trabalháveis. Quando presente nos cimentos é conhecido como Fíler Calcário.

O QUADRO 2, apresenta os tipos de cimento *Portland* normalizados no Brasil com suas determinadas siglas e componentes.

Quadro 2 – Tipos de Cimento *Portland* normalizados no Brasil

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Conteúdo dos componentes (%)			
		Clínquer + Gesso	Escória (E)	Pozolana (Z)	Fíler Calcário (F)
Comum	CPI	100	0		
Comum com adição	CPI-S	99-95	1-5		
Composto com escória	CPII-E	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Fíler	CPII-F	94-90	0	0	6-10
Alto – forno	CPIII	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CPIV	85-45	0	15-50	0-5

Continuação Quadro 2 – Tipos de Cimento Portland Normalizados no Brasil

Resistente a sulfatos	CPV-ARI	100-95	0	0	0-5
Branco estrutural	CPB	100-75	0	0	0-25
Branco não estrutural	CPB	74-50	0	0	26-50

Fonte: Associação Brasileira de Cimento *Portland* (2002)

4.2.2. Agregados

Agregados é um nome genérico dado aos materiais que são adicionados ao cimento e à água para se alcançar as argamassas e os concretos. Apresentam – se em forma de grãos, como por exemplo, as areias e britas, e devem ser inertes, ou seja, não devem provocar reações indesejáveis. (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2011)

Segundo BAUER (2011), os agregados se dividem conforme é apresentado no QUADRO 3, de acordo com sua origem.

Quadro 3 – Classificação dos agregados com relação a sua origem

Classificação dos agregados		Descrição
Origem	Natural	Encontrado em forma particulada na natureza prontos para uso, necessitando apenas de lavagem: areia de rio e cascalho.
	Artificiais	São aqueles advindos de procedimentos industriais: folhelho expandido por tratamento térmico e argila expandida.

Continuação Quadro 3 – Classificação dos agregados com relação a sua origem

	Britados	São aqueles que sofrem diminuição, na maioria das vezes, por processo de britagem: pedra britada.
	Reciclados	Agregados resultantes da reciclagem de resíduos de construção e demolição ou, de resíduos industriais granulares: areia e brita reciclada.

Fonte: Isaia (2011)

Os agregados também são classificados de acordo com a sua granulometria, a NBR 7211 (ABNT, 2009), estabelece que os agregados miúdos fazem referência a aquele cujos grãos passam na peneira com abertura de malha igual a 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha igual a 150 µm. Enquanto o agregado graúdo refere – se aos grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos nas peneiras com abertura de malha de 4.75 mm.

A FIG. 3 apresenta alguns tipos de agregados utilizados na construção civil.

Figura 3 - Tipos de agregados: A – brita 0, B – brita 1, C – brita 2, D – brita 4, E – areia fina, F – areia grossa



Fonte: O autor, 2017.

4.2.3. Água

Segundo JÚNIOR (2016), a água é indispensável na composição do cimento, já que este consome cerca de 19% de seu peso em água para constituir os cristais sólidos que ocasionam a resistência mecânica do concreto.

De acordo com a ABNT NBR 15900:2009, a água para amassamento de concreto não deverá conter teores prejudiciais de substâncias como açúcares, fosfato, nitratos, entre outros.

Normalmente, são utilizados de 160 a 250 litros de água para cada m³ de concreto, mas um estudo de dosagem deve ser feito, levando em consideração alguns fatores como, local e o tipo de aplicação, requisitos de projetos, agregados disponíveis, entre outros fatores, para que o cálculo seja preciso não danificando as estruturas. (JÚNIOR, 2016)

4.3. Propriedades do concreto fresco

Considera – se que o concreto está no seu estado fresco até o momento em que se inicia a pega do aglomerante. (EFFTING, 2014)

A FIG. 4 apresenta o concreto em seu estado fresco.

Figura 4 - Concreto Fresco



Fonte: O autor, 2017.

Segundo Geyer e Sá (2006), a qualidade das estruturas de concreto acabadas está visceralmente ligada à sua qualidade no estado fresco, ocasionando

ou não, a ocorrência de falhas de concretagem, segregação, exsudação e vazios no concreto.

Tendo isso em vista, é necessário que as propriedades do concreto nesse estado sejam analisadas e controladas. Obtendo ao final um material de qualidade.

Dentre as diferentes propriedades que o concreto apresenta, em seu estado fresco, as que mais se destacam são: trabalhabilidade, tempo de pega e coesão, pois suas características influenciam diretamente no resultado final do mesmo. Estas propriedades serão apresentadas a seguir detalhadamente.

4.3.1. Trabalhabilidade

De acordo com EFFTING (2014), trabalhabilidade do concreto refere – se à facilidade do elemento ser adequadamente misturado, transportado, lançado e adensado sem que ocorra perda da homogeneidade, obtendo um concreto com o mínimo de vazios.

O componente físico de maior relevância, ao se tratar de trabalhabilidade, é a consistência, que ligada ao concreto diz respeito à mobilidade da massa e coesão entre os elementos que o constituem. (BAUER, 2011)

A trabalhabilidade adequada de um concreto depende da natureza da obra, dimensões das formas, taxas das armaduras e dos processos de lançamento e adensamento, ou seja, um concreto pode ser trabalhável para uma obra e não ser para outra. (FREITAS, 2013)

Segundo EFFTING (2014), a trabalhabilidade do concreto pode ser afetada por fatores internos e externos, conforme é apresentado no QUADRO 5.

Quadro 5 – Fatores que afetam a trabalhabilidade do concreto

	Fator	Detalhes
FATORES INTERNOS	Consistência	Relação água/materiais secos.
	Traço	Proporção cimento/agregados.
	Granulometria	Proporção agregado graúdo/agregado miúdo.
	Forma dos grãos	Forma angulosa ou arredondada.
FATORES EXTERNOS	Tipo de mistura	Manual ou mecânica
	Tipo de transporte	Caçambas, bombas, calhas.
	Tipo de lançamento	Pequenas ou grandes alturas; pás ou calhas.
	Tipo de adensamento	Manual, vibratório, etc.
	Dimensões	Da peça a executar e armadura.

Fonte: Effting, 2014

A fim de medir a trabalhabilidade do concreto, vários métodos foram desenvolvidos. No Brasil o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone, mais conhecido por *Slump Test*, regulamentado pela ABNT NBR NM 67:1998, é o mais utilizado.

O método consiste em retirar a amostra de concreto da betoneira, umedecer o conjunto de cone e base metálica, posicionar o mesmo sobre a placa plana e calçá-la com o auxílio dos pés. Em seguida o cone é preenchido em três camadas com altura uniforme. Compacta-se cada camada com 25 golpes usando uma haste, em sequência, o excesso de concreto é retirado e a superfície regularizada. Feito isso, o molde é retirado e o abatimento é medido, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura média da massa desmoldada. Essa medição é feita em milímetros com aproximação de 5 mm. (BAUER, 2011)

Na FIG. 5, apresenta o equipamento utilizado para a realização do ensaio de abatimento de tronco de cone.

Figura 5 - Equipamento para o Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone



Fonte: O autor, 2017.

4.3.2. Tempo de Pega

O tempo de pega é caracterizado pelo tempo fundamental para o enrijecimento da pasta de cimento. É importante que não se movimente a pasta após a pega ter sido iniciada, visto que as reações de hidratação já se iniciaram. (PINTO; RIBEIRO; STARLING, 2011).

Segundo Aoki (2010), o tempo de início de pega refere-se ao período útil que se tem para finalizar o processo de aplicação, isto é, compreende desde a mistura dos materiais até o seu adensamento e acabamento final.

Já o tempo final de pega diz respeito ao momento final do enrijecimento do concreto, onde se inicia o ganho de resistência mecânica propriamente dita. (AOKI, 2010)

Atualmente, existem disponível no mercado, aditivos para que se possa acelerar ou retardar o tempo de pega sem prejuízo para a evolução das características do concreto. São produtos solicitados, geralmente, por empresas que realizam o transporte de concreto usinado em longas distâncias ou em regiões com trânsito complicado. (MUNIZ, 2008)

4.3.3. Coesão

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), coesão pode ser definida como a facilidade de adensamento e acabamento, da produção ao transporte e lançamento no processo de concretagem.

Normalmente é necessário que se faça testes com diferentes proporções de agregados para que se encontre uma mistura com coesão apropriada. Segundo Recena (2011), a quantidade de agregado miúdo presente no concreto é o fator determinante para a coesão visada.

4.4. Propriedades do Concreto Endurecido

O concreto endurecido caracteriza-se assim, a partir da pega onde é considerado como um sólido. E este material permanece em perpétua evolução. (BAUER, 2011)

Assim como no estado fresco, o concreto no seu estado endurecido apresenta características e propriedades específicas que devem ser muito bem analisadas, além dos fatores que às condicionam, pois é a partir dessa análise que o responsável pela obra determina os materiais adequados para o trabalho de maneira coesa e eficiente.

Segundo Effting (2014), as principais características e propriedades do concreto endurecido a serem estudadas são: características físicas como, a massa específica e permeabilidade, resistência mecânica, durabilidade e estabilidade dimensional. Sendo as mesmas abordadas em detalhes a seguir.

4.4.1. Características Físicas

As características do concreto divergem substancialmente das características dos elementos que os constituem. (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004)

De acordo com Bauer (2011), dentre as características que o concreto, em seu estado endurecido, apresenta as que mais se destacam são: massa específica, permeabilidade, características acústicas e térmicas.

Os pontos de maior relevância de cada uma dessas propriedades são apresentados a seguir.

- Massa específica: definida pela relação entre a massa de agregado seco e seu volume. Os valores de massa específica para o concreto endurecido dependem do adensamento e dos agregados utilizados. Para efeito de cálculo o concreto não adensado possui massa específica igual a 2100 Kg/m³, o concreto comprimido 2200 Kg/m³, concreto socado 2500 Kg/m³ e o concreto vibrado podendo variar de 2300 a 2400 Kg/m³. (EFFTING, 2014)
- Permeabilidade: devido ao excesso de água na mistura, à diminuição de volume absoluto, ar arrastado durante a operação de mistura e outros fatores, o concreto apresenta vazios o que o torna um material poroso. Com isso o concreto é comumente permeável aos líquidos e gases. (BAUER, 2011). Com tudo é importante que se conheça a permeabilidade deste material não só quando utilizados em obras com contato direto com a água, mas também quando a durabilidade do concreto pode ser prejudicada pela ação de agentes agressivos.
- Características acústicas: o concreto usual, estrutural, do ponto de vista de tratamento acústico em construções, atende de maneira relativamente modesta às necessidades. Porém é no concreto cavernoso que a absorção de som acontece de maneira mais eficiente por este não conter agregados miúdos, sendo mais poroso. (BAUER, 2011)
- Características térmicas: segundo Bauer (2011), o concreto possui baixa condutividade térmica, pois seus vazios são preenchidos por água ou ar que adia a absorção do calor. Em altas temperaturas a massa específica do concreto sofre primeiro uma pequena redução devido a evaporação da água livre e depois um aumento do volume devido à expansão térmica gerada pelos agregados submetidos a temperaturas superiores as 500 °C. (COSTA, 2008)

Bauer (2011) ressalta ainda que, em casos comuns, o concreto conserva suas propriedades térmicas, embora algo reduzidas, até cerca de 300 °C, ao passar disso danos podem ocorrer na estrutura em questão.

4.4.2. Resistência Mecânica

De acordo com Effting (2014), quando se fala em resistência mecânica do concreto no seu estado endurecido, está referindo – se à capacidade que o mesmo

tem de resistir às diversas condições de carregamento a que possa ser submetido quando em serviço.

O concreto é submetido a ensaios para determinar sua resistência, esta se subdivide em resistência à compressão, resistência à tração, à flexão e ao cisalhamento. (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004)

Os cálculos para resistência do concreto são realizados 28 dias após a sua execução, pois com essa idade ele já adquiriu cerca de 75 a 90% de sua resistência total. É importante ressaltar ainda que, com o passar do tempo o concreto endurecido vai aumentando sua resistência a esforços mecânicos. (EFFTING, 2014)

Para que a resistência do concreto atenda às expectativas é importante que fatores como a relação água/cimento, aderência dos agregados à pasta de cimento, grau de hidratação, água sem impurezas, processo de cura e outros, devem ser muito bem projetados e analisados, pois esta propriedade é de crucial importância para que o trabalho final seja alcançado com sucesso, ou seja, sem danos e prejuízos à estrutura e envolvidos.

4.4.3. Durabilidade

A durabilidade de uma estrutura de concreto não significa uma vida infinita, nem a resistência do concreto a qualquer ação. Sabe-se que agentes agressivos como intemperismo natural e resíduos industriais podem reduzir a vida útil do concreto. (NEVILLE, 2016)

Para Effting (2014), a redução da permeabilidade do concreto e a utilização de cimentos resistentes a sulfatos e com baixos teores de C_3Al (aluminato tricálcio) são atitudes que podem aumentar a durabilidade do mesmo.

Determinar a agressividade ambiental da área aonde irá se empregar uma estrutura de concreto antes de realiza-la é de crucial importância, pois desta maneira danos podem ser evitados. Segundo a ABNT NBR 6118:2014, a agressividade do meio ambiente refere-se às ações físicas e químicas que agem sobre as estruturas de concreto. Através do QUADRO 6 que é apresentado na sequência, é possível determinar a classe de agressividade ambiental e com isso estabelecer de forma coesa a relação água/cimento e a classe do concreto a ser empregado, garantindo uma superior qualidade e durabilidade a elementos feitos deste material.

Quadro 6 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1),2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1),2)}	
IV	Muito forte	Industria ^{1),3)}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e área de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Características, espessura e qualidade do concreto utilizado no cobrimento da armadura afetam também a durabilidade das estruturas. Com isso, alguns requisitos mínimos são dispostos pela ABNT NBR 6118:2014 conforme é apresentado no QUADRO 7.

Quadro 7 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0.65	≤ 0.60	≤ 0.55	≤ 0.45
	CP	≤ 0.60	≤ 0.55	≤ 0.50	≤ 0.45
Classe de concreto	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

Notas:

- 1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
- 2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais do concreto armado.
- 3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

4.4.4. Estabilidade dimensional

O concreto sofre deformação não só quando sujeito a altas cargas, mas também na sua secagem e resfriamento. Deformação esta denominada retração. (GUIMARÃES; SANTOS, 1999)

A retração plástica refere-se a aquela que ocorre com o concreto no seu estado fresco, minutos após o adensamento e geralmente é acompanhada de abertura de fissuras, enquanto a retração inelástica ocorre no concreto já endurecido. (EFFTING, 2014)

Os principais fatores que levam à retração são: umidade do ar, temperatura, relação água/cimento, geometria das peças e velocidade do vento que incide sobre uma peça recém concretada. (EFFTING, 2014)

Tendo em vista que as condições climáticas não podem ser controladas, os demais fatores devem ser bem trabalhados para que a retração ocorra com menos frequência e menor intensidade, fazendo com que seus malefícios sejam amenizados conseqüentemente. (FARIA, 2016)

4.5. Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

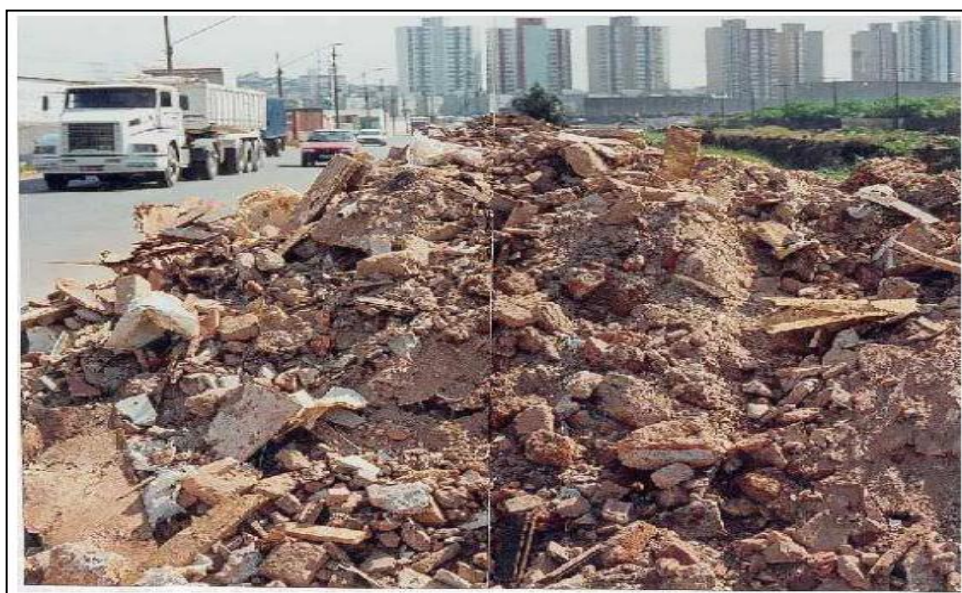
Conceitua-se resíduos de construção civil todos aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os

demais resultantes da preparação e escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, argamassa, gesso e outros. (ABNT NBR 15113:2004)

Além de ser a maior consumidora de recursos naturais, a construção civil é também a maior geradora de resíduos em massa dentro de centros urbanos. Resíduos estes que geralmente são descartados de maneira irregular ocasionando problemas como a obstrução de rios, córregos e bocas coletoras por exemplo. (PINTO, 1999)

Na FIG. 6 é possível observar que o depósito ilícito de resíduos de construção e demolição (RCD) em áreas urbanas revela um impacto visível na paisagem local causando um prejuízo às condições de tráfego de pedestres e veículos.

Figura 6 - Entulho urbano



Fonte: PINTO, 1999

Já na FIG. 7 averigua-se que os impactos referentes à drenagem urbana também acontecem quando há disposição de RCD em locais não planejados para tal ação.

Figura 7 - Entulho urbano



Fonte: PINTO, 1999

Diante de tantas atitudes inconsequentes do homem, vários segmentos da sociedade têm buscado caminhos distintos na tentativa de diminuir o impacto ambiental causado. E é neste contexto que a reciclagem de resíduos de construção e demolição surge como uma ferramenta notável no aumento da sustentabilidade da construção civil. (ÂNGULO; JOHN, 2002)

A utilização sistemática de agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição deu-se após a Segunda Guerra Mundial devido ao excesso de escombros dispostos nas cidades Europeias e a enorme busca por materiais de construção. (BARROS, 2005)

Em um segundo instante outros países da Europa como: Holanda, Bélgica e França se interessaram pela ideia, pois a escassez de agregado natural em suas regiões era notória. (PINTO, 1999)

Atualmente o processo vem se revelando em vários países, principalmente, por causa da necessidade de se dá um destino adequado para o enorme volume de RCD gerado. (PINTO, 1999)

Gerenciar os resíduos de construção e demolição em uma grande cidade é muito dispendioso e difícil, e conforme o volume gerado aumenta as dificuldades crescem. Na tentativa de solucionar os problemas, prefeituras de algumas cidades brasileiras montaram usinas de reciclagem destes resíduos. As três primeiras instaladas no Brasil foram pelas prefeituras de São Paulo em 1991, de Londrina em 1993 e em Belo Horizonte em 1994. (ÂNGULO; CARELI; MIRANDA, 2009)

Diante de benefícios econômicos e ambientais obtidos por estas usinas. Programas de gerenciamento foram criados para que o sistema se desenvolvesse e disseminasse. (ÂNGULO; CARELI; MIRANDA, 2009)

Os anos foram passando e pesquisas sistemáticas foram sendo realizadas a respeito do uso de RCD. A fim de alavancar esse processo de reciclagem, no ano de 2002 o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA homologou a resolução de número 307 estabelecendo que grandes geradores, tanto públicos quanto privados, são obrigados a desenvolver e implantar um plano de gestão de RCD, objetivando a sua reutilização, reciclagem ou qualquer outra destinação ambientalmente correta.

Além dessa resolução do CONAMA, normas técnicas como a ABNT NBR 15113:2004, ABNT 15114:2004, ABNT NBR 15115:2004 e ABNT NBR 15116:2004 foram criadas para que os agregados gerados após a reciclagem passassem a ter mais qualidade e controle para eficiente uso em um período posterior.

Apesar de tantos pontos levando à reciclagem dos resíduos de construção e demolição, existe ainda, um preconceito muito grande dos compradores ao se tratar especificamente desse tipo de produto reciclado. No Brasil, isso acontece pela falta de incentivo de partes governamentais, pela ausência de conhecimento técnico e falta de normas regulamentadoras mais específicas para controle dos resíduos gerados, pois se esses são monitorados de maneira precisa, determinar parâmetros base para elaboração de produtos qualificados se torna extremamente mais fácil. (BARROS,2005)

4.6. Agregados Reciclados e Seu Beneficiamento

Nas usinas mais desenvolvidas existem dois tipos de instalações de reciclagem: aquelas que produzem agregados para todo tipo de aplicação e as que produzem agregados para uso específico em concreto. (PINTO, 1999)

Para que se obtenha um agregado reciclado de qualidade é necessário além de bons equipamentos na usina, pessoas dispostas e qualificadas para fechar o ciclo de produção.

Este processo inicia-se nas obras com a separação prévia do plástico, papelão, vidro, metais e madeiras, daqueles resíduos constituídos por resto de concreto, tijolos, blocos, cimento e argamassa. Em seguida, colaboradores como carroceiros e motoristas de caminhões com caçambas fazem o trajeto do entulho previamente separado até a área de despejo da usina. Chegando ao destino, os resíduos de construção e demolição são separados em dois montes: o predominante cinza que é aquele que não precisa passar por triagem, pois sua composição, na sua maioria, é de concreto e cimento, e o monte de resíduos misto onde é necessário que se faça uma separação sistemática pois é constituído de vários elementos como solo, ferragem, argamassa e outros.

A FIG. 8, é uma representação do material misto advindo das construções e demolições da cidade de Belo Horizonte. Este se apresenta disposto no pátio de triagem da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) da BR 040.

Figura 8 - Resíduos misto



Fonte: o autor, 2017.

O entulho misto que anteriormente foi molhado para diminuir a emissão de poeira, é espalhado no terreno através de uma pá carregadeira. Após este processo,

profissionais de reciclagem vão para o local e é feita uma coleta manual de papelão, papéis, plástico, madeira, ferragem e vidro.

A FIG. 9, apresentada a seguir, é possível observar o material espalhado no pátio da CTRS de Belo Horizonte para triagem manual.

Figura 9 - Material espalhado para triagem manual



Fonte: o autor, 2017.

Em sequência, o montante obtido, caracterizado como sendo da classe “A”, é despejado em um alimentador através de uma pá carregadeira. Este material é molhado e mandado para o triturador, conforme FIG. 10.

Figura 10 - Material triado disposto no alimentador



Fonte: o autor, 2017.

O entulho triado começa a ser fragmentado pelo triturador. Nele existe uma grelha que separa bica corrida, material com diâmetro menor que 2 mm, do material de granulometria maior. Através de uma esteira, o entulho que não passou pela grelha é enviado para o britador de mandíbulas onde é triturado e liberado o material que recebe o nome de rachão.

Na FIG. de número 11, observa-se o rachão depositado após britagem.

Figura 11 - Rachão



Fonte: o autor, 2017.

O rachão é depositado sobre uma abertura, chamada de pulmão, nela possui uma calha dosadora que quando acionada pelo painel de controle, abre e o material é levado, gradativamente através de uma esteira, para o *deck* de peneiras onde o mesmo é classificado e separado através de outras esteiras, obtendo do processo brita 0, brita 1, areia fina e areia grossa. Nas esteiras, é importante ressaltar que, contém eletroímãs que garantem a retenção de qualquer metal que possa ter passado despercebido no processo de triagem manual.

A FIG. 12, apresenta a sequência de esteiras do sistema supracitado.

Figura 12 – Esteiras



Fonte – o autor, 2017.

O material que fica retido nas peneiras é levado para um segundo britador, conhecido por britador de cone, onde o que remanesceu é triturado e disposto em seus devidos lugares.

Na cidade de Belo Horizonte, onde encontra – se a usina acima apresentada, existem mais duas empresas públicas deste ramo, as quais, se somadas suas quantidades produtivas (30, 50 e 50 t/h), menos de 14% dos resíduos gerados pelo município estão sendo reciclados. (PIMENTA, 2017)

Segundo o IBGE Cidades (2016), a cidade de Belo Horizonte gerou em 2016 cerca de 1.306.994,52 toneladas de RCD. Para conseguir reciclar todo o montante, seriam necessárias 11 usinas com capacidade de 80 t/h. (PIMENTA, 2017)

Segundo a ABNT NBR 15113:2004, os resíduos de construção e demolição são divididos em quatro classes conforme exemplificado no QUADRO 8.

Quadro 8 – Classificação de resíduos de construção civil

Classe	Atribuição
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como os oriundos: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; componentes cerâmicos, argamassas e concretos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto produzidas no canteiro de obras.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: ABNT NBR 15113:2004

4.6.1. Classificação

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (2017), após o processo mencionado anteriormente, obtêm-se agregados conforme disposição no QUADRO 9.

Quadro 9 – Tipos de agregado produzido e suas características

Produto	Características	Uso recomendado
Areia Reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco Reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artesanatos 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 de 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 (2017)

4.6.1.1. Vantagens e desvantagens da utilização de agregado reciclado

Assim como qualquer outro processo existente, a reciclagem de resíduos de construção e demolição apresenta vantagens e desvantagens.

As desvantagens que se destacam referem-se à implantação dessa gestão, pois as áreas adequadas para o recebimento de RCD são insuficientes, exige um

alto investimento inicial para colocar em prática o funcionamento de usinas deste ramo e existe ainda um preconceito muito grande do mercado com produtos advindos de processos de reciclagem. (MINOZZI; TONUS, 2013)

Em contrapartida existe também, várias vantagens que tem feito a diferença para a sociedade em questões ambientais e econômicas, trazendo para a população além de melhor qualidade de vida, empregos em várias regiões.

Segundo a ABRECON (2017) as vantagens são irrefutáveis:

- Quanto ao uso dos agregados reciclados em pavimentação: é a forma de reciclagem que exige a menor utilização de tecnologia, o que implica menor custo do processo; permite utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areias, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles.
- Conforme a utilização como agregado para a confecção de argamassa de assentamento e revestimento: tem efeito pozolânico apresentado pelo entulho moído; apresenta redução no consumo do cimento e da cal; utilizado do resíduo no local gerador, o que elimina custos no transporte; e aponta ganho na resistência à compressão das argamassas.
- Quando utilizado como agregado para o concreto não estrutural: 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; utilização de todos os componentes minerais do entulho (tijolos, argamassas, materiais cerâmicos, areias, pedras, etc.), sem a necessidade de separação de nenhum deles; possibilidade de utilização de uma maior parcela do entulho produzido, como o proveniente de demolição e de pequenas obras que não suportam o investimento em equipamentos de moagem; e a possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento.

4.6.2. Propriedades dos agregados reciclados utilizados no preparo de concreto

Conforme já foi apresentado, os agregados gerados nas usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição instaladas no Brasil podem ser utilizados

para vários fins. Para que isso seja possível, o material produzido deve obedecer às exigências feitas pelas normas ABNT NBR 15115 e ABNT NBR 15116.

Segundo a ABNT NBR 15116:2004, os agregados reciclados classe A podem ser utilizados para concreto não estrutural, substituindo parcial ou totalmente os agregados naturais.

Além deles é necessário que haja a pré-molhagem dos agregados miúdo e graúdo, pois a prática mostra que é adequado um teor de absorção de água em torno de 80% do agregado reciclado em uso. (ABNT NBR 15116:2004)

Para LIMA (2000), este pré-umedecimento deve acontecer por, no mínimo, dois minutos. Ele relata ainda que o controle de qualidade do concreto deve ser feito baseado no consumo de cimento, enquanto o controle de produção do concreto deve ser feito através da medida do abatimento pelo cone de *Abrams*. Deve-se certificar que o abatimento das misturas de concreto reciclado sejam semelhantes aos da de concreto convencional, sendo utilizada a menor relação água cimento possível.

É importante ressaltar que a composição granulométrica final do agregado reciclado deve estar de acordo com a ABNT NBR 7211 que se refere a especificação de agregados para concreto. É permitido corrigir a composição granulométrica do agregado reciclado com a adição de agregado natural. (ABNT NBR 15116:2004)

Os requisitos específicos apresentados no QUADRO 10, devem ser adotados para que a utilização de agregados reciclados seja aceita e qualificada.

Quadro 10 – Requisitos para agregado reciclado destinado ao preparo de concreto sem função estrutural

Propriedades		Agregado reciclada classe A				Normas e ensaios	
		ARC		ARM			
		Graúdo	Miúdo	Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)		≥ 90	-	< 90	-	Anexo A	-
Absorção de água (%)		≤ 7	≤ 12	≤ 12	≤ 17	ABNT NBR NM 53	ABNT NBR NM 30
Contaminantes: teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Cloretos	1				ABNT NBR 9917	
	Sulfatos	1				ABNT NBR 9917	
	Materiais não minerais ¹	2				Anexo A	Anexo B
	Torrões de argila	2				ABNT NBR 7218	
	Teor total máximo de contaminantes	3				-	
Teor de material passante na malha 75 µm (%)		≤ 10	≤ 15	≤ 10	≤ 20	ABNT NBR NM 46	
¹ Para os efeitos dessa norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.							

Fonte: ABNT NBR 15116:2004

- Agregado de resíduo de concreto (ARC): é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduos pertencente à classe “A”, composto na sua fração graúda, de no mínimo 90% em massa de fragmentos à base de cimento *Portland* e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas. (ABNT NBR 15116:2004)
- ARM: é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe “A”, composto na sua fração graúda com menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento *Portland* e rochas. Sua composição deve ser

determinada conforme anexo A e atender aos requisitos das aplicações específicas. (ABNT NBR 15116:2004)

Seguindo a norma ABNT NBR 15116:2004 e as referências normativas seguidas por ela é certo que o produto final obtido apresente qualidade suficiente para satisfazer as necessidades de projeto buscadas.

Outra observação a ser feita, refere-se à influência da porosidade dos agregados reciclados. Os agregados graúdos provindos da reciclagem de RCD são mais porosos que os naturais, o que faz a diferença nas propriedades mecânicas em determinadas faixas de porosidade. (MINOZZI; TONUS, 2013)

Tendo isso em vista, é importante ressaltar e analisar as propriedades do novo modelo de concreto para que o mesmo apresente boa funcionalidade. Conforme apresentado a seguir.

4.6.2.1. Massa específica

Os agregados reciclados apresentam geralmente uma massa específica inferior à aquela dos agregados naturais. Parece que existe uma correlação linear entre massa específica do agregado e do concreto com ele produzido, fator importante para controle de qualidade do mesmo. (SCHULZ E HENDRICKS, 1992)

Como a massa específica do concreto com adição de agregados reciclados apresenta menor valor, comparado ao do concreto convencional em que se utiliza agregados naturais. Esse ponto sugere que os concretos reciclados podem ser utilizados em casos onde o peso próprio da estrutura é um fator limitante, além do que se pode ainda reduzir as seções das peças estruturais, representando uma economia financeira relevante. (CABRAL, 2007)

4.6.2.2. Trabalhabilidade

Concretos feitos com agregados reciclados apresentam menor índice de consistência que as misturas executadas com agregados naturais do mesmo traço. Essa afirmação é feita devido ao fato do material reciclado apresentar maior porosidade, acontecimento que aumenta a absorção de água do mesmo e diminui a quantidade de água livre das misturas. (HENDRIKS E PIETERSEN, 1998)

Outro motivo encontrado para justificar isso é referente ao processo de britagem e moagem. Neste procedimento os agregados reciclados se tornam mais angulares. Como resultado, a fricção interna dos concretos feitos com agregados reciclados é mais alta que o convencional, demandando maior quantidade de pasta para que se obtenha uma trabalhabilidade semelhante a do concreto convencional. (CABRAL, 2007)

A substituição dos agregados miúdos naturais pelos miúdos reciclados interfere de maneira mais taxativa na trabalhabilidade que a substituição de agregados graúdos. (LEITE, 2001)

Isso acontece porque os agregados reciclados dispõem de um grande percentual de finos que contribuem para que a mistura tenha um efeito de compactação, propiciando um maior fechamento dos vazios. Possuem também, uma maior absorção acarretando maior aderência entre a pasta e o agregado. (LEITE, 2001)

Para se contornar a redução de trabalhabilidade é necessário adicionar água de amassamento (em torno de 5%) ou aditivo. Além disso, constatou-se que a perda de abatimento dos concretos reciclados é mais rápida que dos concretos de agregados naturais. (HANSEN E NARUD, 1983)

4.6.2.3. Resistência à compressão

Todos os materiais que integram o concreto afetam justamente na resistência e desempenho final do mesmo. Dessa forma os agregados são profundamente importantes para verificação sensata das propriedades do concreto. (LEITE, 2001)

Vários trabalhos apresentam discordância a respeito da resistência à compressão em concretos com agregados reciclados. Alguns relatam que a resistência nesse tipo de concreto é menor quando comparado com o concreto convencional, enquanto outros afirmam o contrário. Segundo CABRAL (2007), essa divergência acontece por causa das variáveis componentes, tais como os modelos de britadores empregados na elaboração dos agregados reciclados, os quais influenciam na geometria dos mesmos e de modo consequente no teor de vazios do concreto produzido.

Em pesquisas cujo desfecho foi favorável para os concretos com agregados reciclados em sua composição, se deu devido à alta taxa de absorção desses

agregados, que ocasionou uma redução da relação água/cimento, levando ao aumento da resistência do concreto. (MACHADO JR. et al., 1998)

Em outras pesquisas realizadas detectou-se que a cura úmida dos concretos desperta um aumento de 10% nos resultados de resistência comparados aos concretos curados ao ar. (LEITE, 2001)

Além disso, percebeu-se também que utilizar diferentes proporções de agregado graúdo reciclado e agregado miúdo reciclado faz total diferença. Testes mostraram que agregados graúdos exercem maior influência na resistência à compressão. (LEITE, 2001)

4.6.2.4. Módulo de deformação

Devido à camada de argamassa existente na extensão dos agregados reciclados de concreto de superior porosidade apresentada por estes resíduos, os concretos reciclados detêm de maior deformabilidade que os convencionais. (LEVY, 1997)

Independente da porcentagem de agregado graúdo e miúdo natural trocado pelos reciclados, a curva de tensão – deformação para os concretos com agregados reciclados é equivalente à apresentada para concretos com agregados naturais. (CABRAL, 2007)

4.6.2.5. Durabilidade

A durabilidade do concreto está profundamente correlacionada à permeabilidade do mesmo, entre outras propriedades. Isso independente se ele é um concreto reciclado ou convencional. (LEITE, 2001)

De acordo com pesquisas já realizadas, concretos com agregados naturais indicam permeabilidade à água de 2 a 3 vezes menor que a permeabilidade de concretos reciclados. Isso acontece porque os agregados naturais apresentam porosidade inferior à dos agregados reciclados. (QUEBAUD et al., 1999)

Logo a permeabilidade ao ar mostra-se similar tanto para os concretos reciclados quanto para os convencionais. (ZORDAN, 1997)

Tal como em outras propriedades, acha-se discordância de pesquisa para pesquisa quando se observa a durabilidade dos concretos, pois novamente são

analisados por cada autor proporções, idades e meios diferentes. Apesar disso, chegou-se à conclusão que concretos com agregados naturais dispõem de uma durabilidade semelhante aos concretos com agregados reciclados de construção e demolição. (LEITE, 2001)

5. MATERIAL E MÉTODO

O presente estudo trata-se de uma revisão bibliográfica, realizada através de consulta a livros, artigos científicos e acadêmicos, periódicos, encontrados na Biblioteca Ângela Vaz Leão do UNIFOR-MG e também em plataformas online de busca de artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorados. E também da aplicação prática do referencial teórico, através de ensaios técnicos em concreto.

Com a finalidade de apontar a viabilidade técnica do uso de agregados reciclados originários do beneficiamento de entulhos de construção e demolição na composição do concreto, no que diz respeito à trabalhabilidade e à resistência à compressão.

Sendo assim, nesta seção são apresentados os materiais necessários e os procedimentos metodológicos utilizados para execuções dos ensaios técnicos de acordo com as NBR da ABNT. Nesse estudo, os resultados encontrados nos ensaios têm por objetivo levar a um comparativo entre o concreto convencional e o concreto reciclado e apontar o mais eficaz.

5.1. Materiais

Para a realização dos ensaios técnicos, *Slump* e resistência a compressão em concretos, sendo convencional e reciclado, foram utilizados os seguintes insumos e equipamentos, sendo eles:

- Insumos (agregados) para concreto reciclado:
 - Areia reciclada grossa
 - Brita reciclada 1

Esses materiais advêm da reciclagem de resíduos de construção e demolição, adquiridos na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS), localizada no Km 531, às margens da rodovia BR-040, em Belo Horizonte, no qual a coleta dos mesmos ocorreu in loco, no dia 10 de agosto de 2017 às 09h, sendo coletados 30 kg de ambos, conforme recomenda a NBR 10007 (ABNT, 2004) refere-se à amostragem de resíduos sólidos. Todo o material recolhido é heterogêneo e

sua retirada foi feita com auxílio de uma pá e depositado em baldes de 15 kg cada um.

Após a aquisição de todo o agregado necessário, foi feito o transporte e armazenamento do mesmo no Laboratório de Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG para os posteriores ensaios. A FIG. 13, apresenta os agregados reciclados: areia grossa e brita 1.

Figura 13 - Agregados reciclados: A - brita 1, B - areia grossa



Fonte: O autor, 2017.

- Insumos (agregados) para concreto convencional
 - Areia grossa lavada
 - Brita 1

Os materiais foram adquiridos em lojas de materiais de construção, em Formiga/MG, tendo como origem Rio Grande situado na cidade de Perdões/MG, a areia natural quartzosa e a pedra calcária extraída da jazida localizada em Pains/MG. Na FIG. 14, apresenta os agregados “convencionais”: areia grossa e brita 1.

Figura 14 - Agregados para concreto convencional: A - areia, B – brita 1

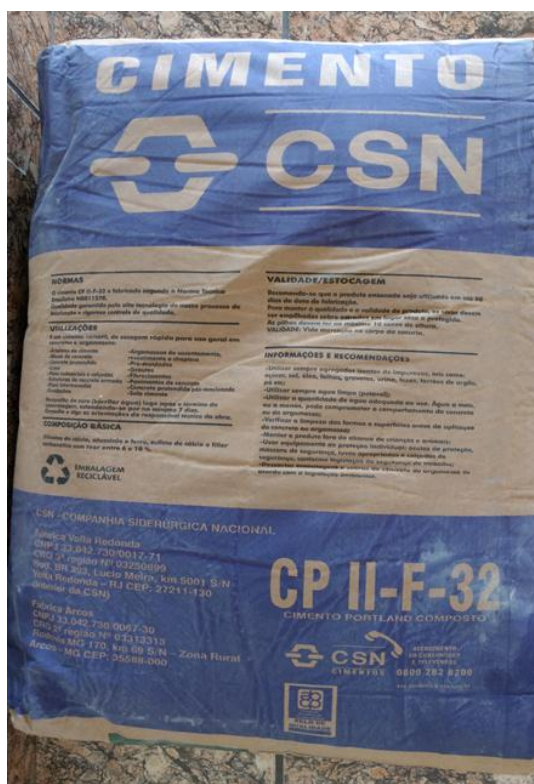


Fonte: O autor, 2017.

- Cimento

Utilizou-se o cimento *Portland CP II-F-32*, adquirido em loja de material de construção em Formiga/MG. Este insumo foi escolhido por apresentar características físico-químicas regulares, ser fabricado segundo a Norma Técnica Brasileira NBR 11578:1991 e ser indicado para vários fins, tais como, concreto armado, concreto não estrutural, entre outros. Conforme a FIG. 15.

Figura 15 - Cimento Portland



Fonte: O autor, 2017.

- Água

Este material foi escolhido por apresentar características físico-químicas regulares, ser fornecida pelo Sistema de Abastecimento e Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), segundo a Norma Técnica Brasileira NBR 11578:1991 e ser indicado para vários fins, tais como, concreto protendido, lajes, pisos industriais e calçadas, pré-moldados, entre outros. Isso porque, se a água utilizada apresentar qualquer tipo de contaminação, poderá afetar nas reações químicas do concreto. Na FIG. 16 têm – se imagem do tipo de concreto utilizado para realização dos ensaios.

Figura 16 - Concreto utilizado nos ensaios



Fonte: O autor, 2017.

- Balança de precisão

Para garantir um traço bem dimensionado e evitar que qualquer situação inesperada ocorresse devido ao excesso ou falta de material, contou – se com o apoio de uma balança de precisão da marca Digi – Tron. (FIG. 17)

Figura 17 - Balança de precisão



Fonte: O autor, 2017.

- Prensa para ensaio de compressão

Utilizou – se uma prensa da marca Solo Cap, disponibilizado pelo laboratório Ciências da Terra do UNIFOR-MG, para o ensaio de compressão axial, na qual foram submetidos os corpos de prova. (FIG. 18)

Figura 18 - Prensa de compressão



Fonte: O autor, 2017.

- *Slump Test*

Para o ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*), o conjunto de material utilizado foi cedido pelo Centro Universitário de Formiga e conta com um cone metálico com abas laterais que possibilitam sua fixação no solo, quando pressionada com os pés, um suporte que age como filtro para evitar que o material a ser depositado caia fora do cone, uma base lisa metálica para apoio do cone, uma haste para compactação do concreto e uma colher de pedreiro para coleta do mesmo. (FIG. 19)

Figura 19 - Equipamento para Slump Test



Fonte: O autor, 2017.

5.2. Método

Neste tópico serão descritos os procedimentos metodológicos que foram utilizados para executar os ensaios técnicos de acordo com a ABNT NBR NM 67:1998 *Slump Test* e NBR 5739:2007 compressão axial.

5.2.1. Dosagem

Para a elaboração dos experimentos foi adotado um traço padrão para dosagem do concreto, a fim de possibilitar uma comparação. Dessa forma, instituiu-se o traço de cimento, areia, brita e relação água/cimento na proporção de 1:2:2,5:0,55.

Foram feitos doze corpos de prova para análise, sendo três para cada tipo de traço. Fez – se um deles como referência, onde não havia agregado reciclado e outros três com diferentes proporções do mesmo.

No TAB. 01 apresentada a seguir tem-se, em massa, o quantitativo de material usado para cada traço.

Tabela 01 – Quantidade de material empregado em cada traço.

Traço	Cimento (Kg)	Areia Natural (Kg)	Areia Reciclada (Kg)	Brita Natural (Kg)	Brita Reciclada (Kg)	Água (Kg)
0% agregado reciclado	6,740	13,480	0	16,850	0	3,710
33,35% agregado reciclado	6,740	8,985	4,495	11,230	5,620	3,710
66,65% agregado reciclado	6,740	4,495	8,985	5,620	11,230	3,710
100% agregado reciclado	6,740	0	13,480	0	16,850	3,710

Fonte: O autor, 2017.

5.2.2. Produção do concreto

A produção do concreto ocorreu pela mistura dos materiais de forma manual. O processo aconteceu em uma área apropriada para tal, localizada em frente ao laboratório Ciências da Terra do Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG.

Antes de iniciar – se a produção, todos os insumos foram pesados conforme o traço determinado, através de uma balança de precisão de 20 Kg. (FIG. 20)

Figura 20 - Balança de precisão



Fonte: O autor, 2017.

Em todas as misturas, a sequência dos materiais foi a mesma, ou seja, molhou-se o chão para evitar que o mesmo absorvesse a água destinada para execução do concreto, em seguida foi posto o agregado miúdo dimensionado (areia natural e reciclada), logo após o cimento, os mesmos foram misturados com auxílio de uma enxada até que a mistura se tornasse homogênea. Posteriormente adicionou – se parte da água, os elementos foram misturados novamente e então foi inserida a quantidade determinada de agregado graúdo (artificial e reciclado) acompanhada do restante da água. O tempo aproximado de mistura foi de quinze minutos e cada etapa constituinte do processo foi feita objetivando melhor regularidade do concreto.

5.2.3. Ensaio de abatimento de tronco de cone ou *Slump Test*

Após a produção do concreto, este ainda no seu estado fresco, foi efetuado o ensaio de abatimento de tronco de cone, em concordância com a ABNT NBR NM 67:1998. Este experimento permite averiguar a trabalhabilidade do concreto através do seu abatimento.

Para execução do teste, preliminarmente umedeceu – se o molde e a placa metálica usada como apoio, em seguida, foram colocados sobre uma superfície horizontal plana. Depois, a fim de manter o cone imóvel, o mesmo foi fixado com os pés pelas aletas presentes no equipamento.

Posteriormente, o molde foi completado com o concreto em três camadas com altura próxima a um terço da altura total do cone cada uma. Para cada uma das partes foram aplicados vinte e cinco golpes por uma haste de socamento de maneira uniforme sobre sua seção.

Em sequência, o cone foi erguido lentamente e sem trepidações, em um tempo de aproximadamente dez segundos. Com a desmoldagem concluída, o cone é posto invertido ao lado do montante e com a haste, como referência, a diferença entre as alturas é medida determinando o abatimento do concreto em questão. Na FIG. 19, apresentasse o ensaio supracitado.

Figura 21 - *Slump Test*



Fonte: O autor, 2017.

É importante ressaltar que este processo foi repetido em todos os quatro tipos de traço feitos, afim de analisar o abatimento apresentado por cada um deles.

5.2.4. Preparação e cura dos corpos de prova

Para a realização e cura dos corpos de prova, utilizou – se como referência a ABNT NBR 5738:2008, através dela moldou-se 9 corpos de prova para cada traço de concreto desenvolvido, tanto para o de 0% de agregado reciclado, usado como referência, quanto para os de 33,35%, 66,65% e 100%, totalizando 36 corpos de prova.

Como molde, foi utilizado cilindros de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, feitos a partir de tubos de PVC (policloreto de vinilo). Estes foram postos sobre um tablado de madeira plano, livre de vibrações, como aponta a FIG. 20.

Figura 22 - Moldes de PVC



Fonte: O autor, 2017.

O concreto foi colocado nos corpos de prova com o auxílio de uma colher de pedreiro e compactado, em duas camadas, com 12 golpes de mesma intensidade conforme exposto em norma vigente. (FIG. 21)

Figura 23 - Corpo de prova em molde



Fonte: O autor, 2017.

Após o período de 24 horas foi realizado o desmolde dos corpos de prova, que ocorreu com o auxílio de uma Serra Mármore Makita. Em sequência foi realizado a identificação nos moldes de concreto e em seguida submetidos ao processo de cura, quando foram colocados dentro de um tanque de água onde permaneceram até a data prevista para o rompimento.

5.2.5. Ensaio de resistência à compressão axial do concreto

Foi realizado o ensaio de resistência à compressão axial do concreto de acordo com a NBR 5739:2007 com a colaboração de uma prensa da marca Solocap.

Antes do rompimento foi realizado a limpeza e secagem na base de recebimento da prensa e dos corpos de prova em questão para evitar qualquer prejudicial alteração nos resultados do rompimento. Para que fosse atingido maior eficácia nos testes, o círculo com eixo central marcado, presente na base de rompimento da prensa foi utilizado para facilitar a coincidência do eixo do corpo de prova com o eixo da máquina. É importante ressaltar que o capeamento dos corpos de prova não foram feitos devido a ausência de material para tal ação.

Conforme determinação anterior, as amostragens foram rompidas na idade de 28 dias. Na FIG. 24 pode – se observar um corpo de prova em posição de rompimento.

Figura 24 - corpo de prova a ser rompido



Fonte: O autor, 2017.

Na TAB. 02, é determinado a quantidade de corpos de prova rompidos, para cada traço projetado, nas distintas idades.

Tabela 02 – quantidade de corpos de prova para cada traço e idade

Traço	7 dias	14 dias	28 dias
0% agregado reciclado	3	3	3
33,35% agregado reciclado	3	3	3
66,65% agregado reciclado	3	3	3
100% agregado reciclado	3	3	3

Fonte: O autor, 2017.

Com toda programação feita, nos dias 23 e 30 de agosto foram realizados os ensaios de compressão com os corpos de prova nas idades de 7 e 14 dias. Feito isso detectou – se que algo estava errado pois, as cargas suportadas não estavam ultrapassando o valor de 50.000 N e o mesmo não se deteriorava, formava apenas pequenas trincas na base. Após o ocorrido a prensa foi reconfigurada. Portanto para análise e conclusão deste presente trabalho foram analisados somente os corpos de prova na idade de 28 dias. Sua validade não foi perdida, pois nesta idade o concreto apresenta sua resistência máxima.

Para cálculo da tensão, utilizou – se a equação para que os resultados pudessem ser analisados na ordem de MPA (Mega Pascal).

$$R = 4.F / (\pi.d^2) \quad (2)$$

Onde: “R” é a força de tensão resultante em Mpa, “F” a força em N fornecida pela prensa e “d” o diâmetro em milímetros (mm).

Com base nas informações dispostas na ABNT NBR 12655:2006 determinou – se a resistência característica de cada teste realizado. Como o volume de concreto produzido é inferior a 10 m³ e foram realizados somente 3 corpos de prova para cada porcentagem determinada, baseou – se no caso excepcional citado na norma acima. A equação utilizada foi:

$$f_{ck\text{-est}} = \psi_6 f_1 \quad (3)$$

Para a constante ψ_6 adotou – se o valor 0,80 baseando – se nos fatores dispostos na ABNT NBR 12655:2006. A incógnita “ f_1 ” ´se dá pelo menor valor de resistência dos 3 corpos de prova ensaiados para cada proporção, pois desta maneira analisaremos a pior situação possível para o traço.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos com a realização dos ensaios de abatimento de tronco de cone e de compressão axial além da justificação dos mesmos.

6.1. Concreto no estado fresco

Em conformidade com a ABNT NBR NM 67:1998, o concreto no seu estado fresco foi submetido ao ensaio de abatimento de tronco de cone.

Na TAB. 03, constata – se o abatimento gerado para cada traço de concreto.

Tabela 03 – Abatimento

Concreto	Abatimento (mm)	Relação água/cimento
0% agregado reciclado	150	0,55
33,35% agregado reciclado	80	0,55
66,65% agregado reciclado	0	0,55
100% agregado reciclado	0	0,55

Fonte: O autor, 2017.

Optou – se por uma relação água/cimento alta pois a absorção de água dos agregados reciclados é grande. Com isso teve – se, para o traço base de 0% de agregado reciclado, uma mistura bem molhada, levando a um alto abatimento no ensaio mencionado anteriormente.

No concreto com 100% de agregados reciclados obteve – se um montante pouco úmido. Contudo a relação água/cimento não pode ser aumentada, pois se isso ocorresse, o primeiro traço não teria se efetivado. Na FIG. 25 vê – se como se apresentou o concreto no estado fresco, feito a partir de material reciclado.

Figura 25 - Concreto fresco com 100% de agregados reciclados



Fonte: O autor, 2017.

6.2. Concreto no estado endurecido

Considerando o concreto no seu estado endurecido, realizou – se o ensaio de compressão axial segundo a ABNT NBR 5739:2007. Foi realizado o rompimento de 12 corpos de prova com 28 dias de idade, sendo 3 para cada um dos traços.

Na TAB. 04, verifica – se o resultado do ensaio mencionado para o concreto sem agregado reciclado.

Tabela 04 – resistência do concreto convencional

Concreto 0% de agregado reciclado aos 28 dias	
Corpos de prova	Tensão (MPA)
1	14,94
2	12,01
3	12,56
$f_{ck\cdot est}$	9,61

Fonte: O autor, 2017.

Conforme a Tabela 04, o valor da resistência característica à compressão do concreto sem o uso de agregado reciclado na idade de 28 dias é dado por 9,61 Mpa.

Este resultado será utilizado como base para comparação aos demais traços de concreto cometidos nesta pesquisa.

Na TAB. 05, constata – se os valores obtidos do ensaio de compressão axial para os corpos de prova com 33,35% de agregados reciclados em sua composição.

Tabela 05 – Resistência do concreto com 33,35% de agregado reciclado

Concreto 33,35% de agregado reciclado aos 28 dias	
Corpos de prova	Tensão (MPA)
1	13,46
2	17,21
3	18,35
f_{ck*est}	10,77

Fonte: O autor, 2017.

De acordo com a Tabela 05, a partir das resistências à compressão do concreto na idade de 28 dias e com 33,35% de agregados reciclados, o valor da resistência característica do mesmo, é dado por 10,77 Mpa.

Já na TAB. 06, têm – se os valores de resistência à compressão para concreto com 66,65% de agregado reciclado.

Tabela 06 – Resistência do concreto com 66,65% de agregado reciclado

Concreto 66,65% de agregado reciclado aos 28 dias	
Corpos de prova	Tensão (MPA)
1	6,64
2	7,13
3	7,82
f_{ck*est}	5,31

Fonte: O autor, 2017.

Neste caso, o valor obtido para a resistência à compressão característica, das amostras de concreto com 66,65% de material reciclado, foi de 5,31 Mpa.

Por fim, na TAB. 17 averigua – se os valores de resistência à compressão para o caso onde se tem 100% de agregado reciclado.

Tabela 07 – Resistência do concreto com 100% de agregado reciclado

Concreto 100% de agregado reciclado aos 28 dias	
Corpos de prova	Tensão (MPa)
1	12,19
2	9,60
3	7,62
$f_{ck\text{-est}}$	6,10

Fonte: O autor, 2017.

Para o concreto com 100% de agregado reciclado, de acordo com os dados da tabela 07, têm – se que a resistência à compressão característica é de 6,10 Mpa.

Os valores para tensão utilizados nos quadros anteriores foram obtidos a partir da fórmula (2) apresentada no subitem 5.2.5. O QUADRO 11 mostra como foi feito este cálculo.

Quadro 11 – Cálculo da tensão

Fórmula: $R = 4.F / (\pi.d^2)$				
Porcentagem de agregado reciclado (%)	Corpo de Prova	F (N)	d (mm)	R (MPa)
0	1	117.352,398	100	14,94
	2	94.350,711	100	12,01
	3	98.616,117	100	12,56
33,35	1	105.680,383	100	13,46
	2	135.171,672	100	17,21
	3	144.081,313	100	18,35
66,65	1	52.132,703	100	6,64
	2	55.981,043	100	7,13
	3	61.383,887	100	7,82
100	1	95.772,516	100	12,19
	2	75.374,406	100	9,60
	3	59.810,426	100	7,62

Fonte: O autor, 2017.

Já para o cálculo da resistência característica estimada, o QUADRO 12 exemplifica melhor como este foi realizado.

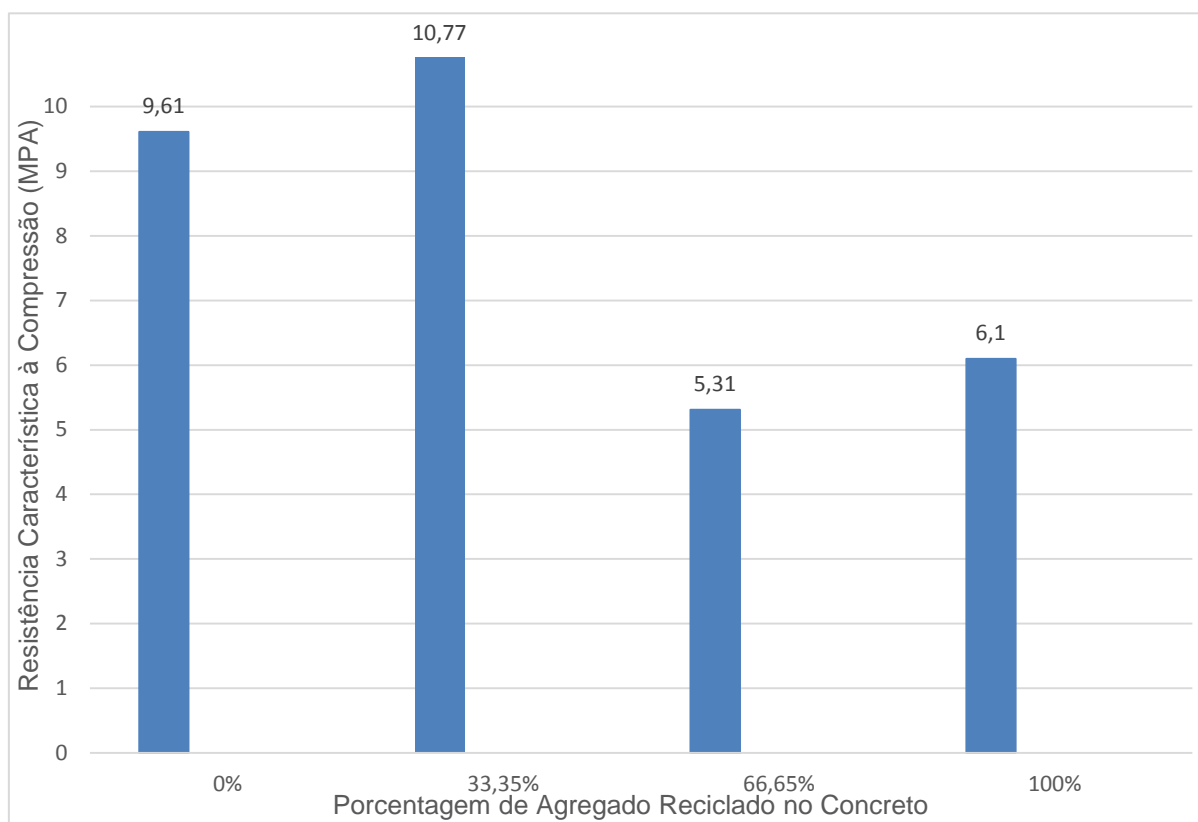
Quadro 12 – Cálculo da resistência característica estimada

Fórmula: $f_{ck\text{-est}} = \psi_6 f_1$			
Porcentagem de agregado reciclado (%)	Constante: ψ_6	Menor resistência característica apresentada pelos corpos de prova: f_1 (MPa)	Resistência Característica Estimada: $f_{ck\text{-est}}$ (MPa)
0	0,8	12,01	9,61
33,35	0,8	13,46	10,77
66,65	0,8	6,64	5,31
100	0,8	7,62	6,10

Fonte: O autor, 2017.

Analisando o GRAF. 1, percebe – se que o traço de concreto com presença de 33,35% de agregado reciclado apresentou resistência característica à compressão 12,07% maior que a do concreto convencional. No concreto com 66,65% de material reciclado, obteve – se o pior resultado, apresentando uma redução à resistência característica de 44,75% referente ao concreto tradicional.

Gráfico 1 – comparativo da resistência característica à compressão dos diferentes traços aos 28 dias



Fonte: O autor, 2017.

Os resultados obtidos foram esperados. A baixa resistência do concreto convencional se deu pelo excesso de água presente, mas que não poderia ser alterado pois, se assim fizesse, o concreto reciclado não seria trabalhável.

Como a absorção de água dos agregados reciclados é alta, o concreto produzido com 33,35% de material reciclado foi o que melhor se adaptou à proporção água/cimento, apresentando assim, a maior resistência característica à compressão entre os traços analisados.

Uma justificativa para esse concreto, anteriormente citado, não ter apresentado maior resistência é dada fazendo referência ao agregado reciclado utilizado. O ideal é que este advenha da britagem de resíduos de concreto, como lajes por exemplo, e não de resíduos mistos como foi o recolhido para ensaio. Nestes resíduos sem separação sistemática, a presença de materiais nocivos ao concreto, como a cerâmica, é alta, tornando - o mais frágil que o convencional.

Visualmente os agregados reciclados ideais apresentam coloração acinzentada e não como o apresentado na Figura 14.

Levando em consideração o que foi dito, quando foi feito o rompimento dos corpos de prova observou – se o quanto a presença de um agregado graúdo reciclado de boa procedência faz diferença.

Conforme a FIG. 26, apresentada a seguir, é possível verificar que no corpo de prova que não há material cerâmico e outras impurezas como pequenos pedaços plásticos e resquícios de solo, o que se deteriora no rompimento é principalmente a massa e não o agregado graúdo, parte resistente do conjunto. Enquanto no corpo de prova constituído de material reciclado, quando submetido à compressão, todo o material se rompe, tanto massa quanto o agregado que proporciona resistência.

Figura 26 - Corpos de prova após rompimento



Fonte: O autor, 2017.

As análises feitas, até o momento, foram baseadas na resistência característica à compressão calculada a partir da menor resistência apresentada pelos três corpos de prova de cada proporção, pois assim considera – se a pior situação possível. Porém, existe ainda a possibilidade de realizar este cálculo tendo em vista a média das resistências entre os três corpos de prova, em cada uma das quatro situações.

Justifica – se esta alternativa levando em conta que a pior situação apresentada não seja totalmente fundamentada, pois, os corpos de prova, antes do seu rompimento, deveriam ter suas bases acertadas por uma lâmina deixando – as uniforme para o ensaio. Uma vez que o laboratório do UNIFOR – MG não possui a mesma e os testes foram realizados sem que fosse executado o procedimento, calcular as resistências características a partir das resistências médias, torna – se uma alternativa viável, conforme visto em ensaios semelhantes feito por outros autores, como é o caso de GONÇALVES (2001).

No QUADRO 13 têm – se as resistências características à compressão para os quatro traços de concreto realizados.

Quadro 13 – Resistência característica à compressão calculada a partir da média das resistências dos corpos de prova

Concreto aos 28 dias				
Porcentagem de agregado reciclado (%)	Corpo de prova	Resistência característica (MPa)	Resistência característica média (MPa)	Resistência característica estimada (MPa)
0	1	14,94	13,17	10,54
	2	12,01		
	3	12,56		
33,35	1	13,46	16,34	13,07
	2	17,21		
	3	18,35		
66,65	1	6,64	7,20	5,76
	2	7,13		
	3	7,82		
100	1	12,19	9,80	7,84
	2	9,60		
	3	7,62		

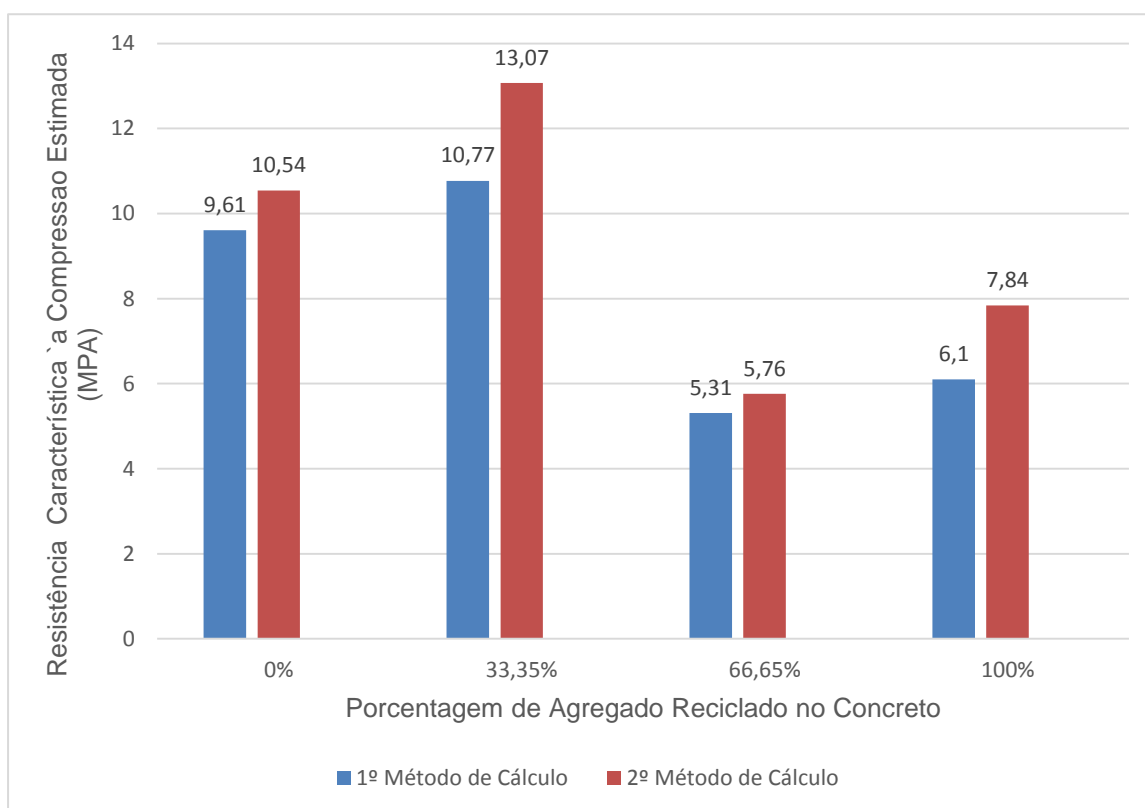
Fonte: O autor, 2017.

Explorando os valores apontados no quadro a cima, vê – se que a resistência característica à compressão para o concreto tomado como base de análise cresceu 9,67%. Já o concreto que apresentou maior resistência característica, feito com 33,35% de agregado reciclado mostrou resultado 21,36% maior, passando sua

resistência de 10,77 MPA para 13,07 MPA, valor pouco menor que o calculado para ser ideal, 15 MPA.

No GRAF. 2 é possível analisar melhor essa diferença.

Gráfico 2 - Comparativo entre as resistências características à compressão para os dois métodos de cálculo



Fonte: O autor, 2017.

Assim sendo, fica comprovado que a proporção que melhor atende às expectativas é aquela constituída por 33,35% de agregado reciclado proveniente dos resíduos de construção e demolição. Além disso, é de grande importância ressaltar que, a relação água/cimento deve ser muito bem dimensionada e receber total atenção, já que a mesma influencia diretamente na resistência do concreto.

Tendo isto em vista, pode – se afirmar que o concreto reciclado não pode ser utilizado em processos estruturais. A falta de cooperação quanto a separação precisa de diferentes tipos de resíduos, faz com que este não seja de uso confiável. Portanto, indica – se o uso de agregados reciclados em blocos sustentáveis, passeios, subleitos em preparação de asfaltos, artefatos de concreto e outros.

7. CONCLUSÃO

Após a efetuação de todas as etapas do estudo apresentado, conclui-se que os concretos feitos à base de agregado reciclado apresentaram um resultado satisfatório, acarretando a viabilidade de uso do mesmo somente em situações não estruturais. O fato deste tipo de agregado, no Brasil, se apresentar somente na forma mista prejudica a resistência do mesmo.

Contudo, segundo dados da MRV Engenharia (2017), nos meses de junho e julho do ano de 2014, somente no estado do Rio de Janeiro, foram economizadas 120 caçambas de entulho que seriam descartados no meio ambiente. Este montante possibilitou à empresa uma economia de 39.168,00 reais. Com resultados deslumbrantes como este, investiram no processo e agregaram o sistema nos seus processos de trabalho, em âmbito nacional. No ano de 2016 a economia detectada foi de R\$ 1.043 milhão e uma redução de 32% das caçambas de RCD.

Outro exemplo é a Prefeitura de Belo Horizonte. Com três usinas de reciclagem de RCD implantadas no município, a mesma utiliza os produtos gerados na pavimentação e recapeamento de ruas e avenidas, além da implantação em artefatos como passeios, canteiros, praças e obras de drenagem pública. A economia gerada é devido ao fato de que, as usinas são autossustentáveis, não precisando do investimento da prefeitura, e elas disponibilizam os materiais sem custo para a mesma.

Embasado no referencial teórico disposto, averigua-se que os concretos com agregados reciclados para apresentarem bom desempenho necessitam de um estudo prévio para determinação da proporção de uso de agregado graúdo e miúdo e sua respectiva relação água/cimento, fator diretamente ligado à resistência do concreto. Porém criar uma proporção ideal é muito difícil visto que, para satisfazer uma propriedade do mesmo, às vezes, outra é contradita. Sugere-se então que seja analisada anteriormente a função que determinado concreto exercerá, pois assim ficará mais fácil ser preciso na definição dos teores a serem utilizados.

É importante ressaltar também que este é um produto economicamente viável, como mostrado no item anterior, principalmente para empresas que apresentam alta demanda de agregados.

Para alguns especialistas as vantagens vistas dependem exclusivamente da qualidade do agregado reciclado. Para eles, quando se usa agregados reciclados vindos da trituração exclusiva de concretos com maior resistência, o novo concreto a ser gerado apresentará uma maior resistência à compressão. (CABRAL 2007)

Logo, recomenda-se que nos trabalhos subsequentes, realizados nessa mesma linha de estudo, efetuem ensaios com diferentes traços e levando em consideração aplicabilidades distintas. Dando preferência ainda para agregados reciclados provenientes exclusivamente de outros tipos de concreto, pois assim há a possibilidade de se ter um produto final passível de utilização estrutural.

Perante os aspectos ambientais, o estudo viabiliza a utilização do resíduo que frequentemente é descartado de forma ilegal no ambiente, prevenindo assim aglomeração de entulho em locais ilícitos, extermínio de jazidas de agregados naturais, poluição visual, entre outros, tendo em vista a concepção de desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- ÂNGULO, S. C.. CARELI, E. D. M., FAGUNDES, L. R.. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil 1986-2008**. Ambiente Construído – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2009.
- ÂNGULO, S. C.. JOHN, V. M.. **Normalização dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos e a variabilidade**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Foz do Iguaçu – Paraná, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. Ed. 7. São Paulo, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aditivos para concreto de cimento Portland: **NBR 11768**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland Composto: **NBR 11578**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Composto: **NBR NM 67**. Rio de Janeiro, 1998
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova: **NBR 5738**. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: **NBR 5739**. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento: **NBR 12655**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Diretrizes para projeto, implantação e operação: **NBR 15113**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação: **NBR 15114**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimento: **NBR 15115**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos: **NBR 15116**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Água para amassamento de concreto: **NBR 15900**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

BARROS, M. C.. Tese de Mestrado: **Avaliação de um resíduo da construção civil beneficiado como material alternativo para sistema de cobertura**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BASTOS, P. S. S. **Históricos e Principais Elementos Estruturais de Concreto Armado**, 2006. 16 p. Notas de Aula (Sistemas Estruturais I)-Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, 2006. Disponível em: <https://www.uniformg.edu.br/images/Biblioteca/ManualNormalizacao_2016.pdf> . Acesso em: 27 fev. 2017.

BAUER, L. A. F.. **Materiais de Construção**. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 471 p.

BUNDER, J. **O concreto: sua origem, sua história**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. 20 p.

CABRAL, A. E. B.. Tese de Doutorado, **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando – se a variabilidade da composição do RCD**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

CARVALHO, J. D. N. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

CENTURIONE, S. L. Dissertação de Mestrado, **Influência das características das matérias primas no processo de sinterização do clínquer Portland**. Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências, São Paulo, 1993.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 307**. Seção 1, p. 95-96, 2002.

EFFTING, C.. **Propriedades do concreto fresco e endurecido**, 2014. 59p. Notas de Aula. UDESC, Joinville. Disponível em: <
http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carmeane/materiais/AULA_2_e_3__2014.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2017.

FARIA, É. F.. Tese de Mestrado, **Predição da exotermia da reação de hidratação do concreto através de modelo termo – químico e modelo de dados**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

FARIA, L. P.. Trabalho de Conclusão de Curso, **Estudo de Viabilidade do Aproveitamento da Cinza Proveniente da Combustão da Lenha de Eucalipto em Forno de Cal para Melhoramento da Resistência à Compressão do Concreto**. UNIFOR-MG, Formiga, 2016.

FREITAS, J. A. J.. **Propriedades do concreto fresco**, 2013. 64 p. Notas de Aula (Materiais de Construção) – Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <
http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/7c/TC031_Propriedades_fresco_.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2017.

GONÇALVES, R. D. C.. Dissertação de mestrado, **Agregados reciclados de resíduos de concreto – Um novo material para dosagens estruturais**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

GUÉNOT-DELAHAIE, I. Tese de doutorado, **Contribuição para a análise física e modelagem da fluência limpa de concreto**. Escola Nacional de Pontes e Estradas, Paris, 1996.

GUEYER, A. L. B. S., RODRIGO RESENDE DE, **Importância do controle de qualidade do concreto no estado fresco**, 2006. Disponível em: <
http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/Ano2_informativo_internet.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2017.

GUIMARÃES, L. E. SANTOS, D. R. Monografia, **Avaliação do módulo de deformação do concreto em diferentes idades e com diferentes relações água/cimento**. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

HANSEN, T. C.. NARUD, H.. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. **Concrete International**. V.5, n.1, p. 79 – 83, 1983.

HANSEN, T. C.. Recycled aggregates and recycled aggregate concrete: second state-of-art report developments 1945 – 1985. **Matériaux et constructions**, vol. 19, n. 111, 1986.

HELENE, P. A. T.. **Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON), 2010. Cap. 29.

HENDRIKS, C. F.. PIETERSEN, H. S.. **Concreto sustentável: uso de agregado reciclado de concreto**. Londres, Thomas Telford Pub, 1998, p. 1-18.

JÚNIOR, J. F.. **Traço de concreto: a importância do controle da água**, 2016. Disponível em: WWW.mapadaobra.com.br/tecnologia/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-da-agua/>. Acesso em: 22 mar. 2017.

KAEFER, L. F. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998.

LEITE, M. B.. Tese de doutorado: **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEVY, S. M.. Tese de mestrado: **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. 147p.

LIMA, J. A. R. **Agregado obtido da reciclagem de resíduos de construção e demolição. Proposição de especificação para uso em concreto**. São Paulo, 2000.

MACHADO JR., E. F.. LATTERZA, L. M.. MENDES, C. L.. Congresso Brasileiro do Concreto: **Influência do agregado graúdo, proveniente da reciclagem de rejeitos de construção e demolição (entulho), na perda do abatimento do concreto fresco e nas propriedades do concreto endurecido**. Rio de Janeiro, 1998.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Ed. PINI, 2008.

MINOZZI, P. I. T, CRISTIAN ALLAN. **Utilização de agregados reciclados de alvenaria na produção de concreto para contrapisos**. Universidade Tecnológica do Paraná, Pato Branco, 2013.

MUNIZ, M. V. S.. **A influência dos aditivos aceleradores e retardadores de pega sobre a pasta de cimento Portland**. Universidade de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. 4ª edição. London, Longman, 1995. 844p.

PIMENTA, C. F.. Tese de Mestrado, **Planejamento e gestão de áreas de beneficiamento de resíduos de construção e demolição**. Instituto Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

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

QUEBAUD, M. R.. ZAHARIEVA, R.. WIRQUIN, E.. BUYLE-BODIN, F.. Congresso Brasileiro de Concreto: **Influência do teor em agregados proveniente da reciclagem de materiais de demolição na permeabilidade do concreto**. Salvador, 1999.

USP e UFSCAR pesquisam uso de resíduos de bauxita no cimento Portland. [on-line]. Revista Técnica, PINI, São Paulo, 2014. [cited 13 de janeiro de 2014]. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/noticias/usp-e-ufscar-pesquisam-uso-de-residuos-de-bauxita-no-304306-1.aspx>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

RIBEIRO, C. C. PINTO, J. D. S. STARLING, T.. **Materiais de construção civil**. 3ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011. 112 p.

RIGO, C. A. S. Tese de Doutorado, **Desenvolvimento e Aplicação de uma Metodologia para Caracterização e Análise Estrutural de Concretos de Cimento Portland**. CPGEM, UFMG, Belo Horizonte, 1998.

SILVA, G. J. B. Dissertação de Mestrado, **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland Produzido com a Adição de Resíduo de Polimento do Porcelanato**. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2005.

TAYLOR, H. F. W. **Química do cimento**. Ed. 2. Londres, 1997.

VIEIRA, G. L. DAL MOLIN, D. C. C. **Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Ambiente Construído – Porto Alegre, 2004.

ZORDAN, S. E. Tese de mestrado: **A utilização do entulho como agregado na confecção do concreto**. Faculdade de Engenharia Civil – FEC, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997. 140p.