ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL E AGREGADOS ORIUNDOS DE ENTULHOS DE OBRA

Maicon Schneider[1]
Poliana Bellei[2]

RESUMO

Esse trabalho possuiu como objetivo geral analisar as propriedades do concreto convencional e com a utilização de agregados oriundos de entulhos de obra. Com isso, possuiu como classificação metodológica o método indutivo, seu nível de pesquisa como explicativo, o delineamento enquadrou-se como experimental, o instrumento e coleta de dados foi os testes, a população da pesquisa são todas as possíveis amostras de materiais que podem substituir os agregados naturais no concreto e a amostras delimita-se aos resíduos de construção e demolição, a técnica de análise e interpretação dos dados classificou-se como quantitativa. A geração de resíduos na construção, demolição e sua destinação reintroduzindo tais materiais novamente na cadeia construtiva, são alternativas de minimizar o impacto ambiental gerado pelo setor da construção civil. Os agregados provenientes de entulho de concreto utilizados nesse estudo, foram agregados graúdos na substituição da pedra britada 1, e agregado miúdo na substituição da areia. Na produção dos concretos utilizou-se os teores de substituição de cada agregado, 50 % e 100 % em relação aos agregados convencionais, bem como produzido um traço referência sem modificação dos materiais. O teor de substituição de agregados reciclados, resultou em um comportamento distinto, em função da idade de rompimento das amostras ensaiadas, sendo que, nas primeiras idades demonstrou maior resistência, e tendo a mesma diminuída no último ensaio. Os resultados obtidos nesse trabalho possibilitam concluir a utilização do entulho como agregado, para produção de concreto, sem finalidade estrutural.

Palavras-Chave: Reciclagem. Resíduo da construção e demolição. Concreto. Agregado.

1 INTRODUÇÃO

O destino incorreto dado aos resíduos da construção civil (resíduos de obra e ou resíduos de demolição) é um problema em todo o mundo. Tal destinação é um dos maiores causadores de danos ao meio ambiente dentro das áreas urbanas, pois são descartados em beiras de rios, terrenos baldios e beira de estradas e rodovias.

Tendo como necessidade a redução de custos e os impactos ambientais, o gerenciamento do canteiro de obras, se faz necessário para minimizar desperdícios, e reduzir ao máximo a produção de resíduos sólidos.

O reaproveitamento desses materiais na forma de reciclagem, além de proporcionar melhorias significativas do ponto de vista ambiental, oferece ao mercado um produto novo,

[1]Engenheiro Civil, Unidade de Educação Faem Faculdades (UCEFF, 2018). E-mail: eng.maicom@hotmail.com.
[2] Docente do curso de Engenharia Civil, Unidade de Educação Faem Faculdades. E-mail: polianabellei@gmail.com.

material com grande potencial de uso, transformando o entulho, em matéria-prima, novamente.

A maior contribuição, é demonstrar que, resíduos de construção e demolição reciclados podem auxiliar na produção de materiais de qualidade satisfatória e de menor custo, podendo ser empregados para a edificação de habitações mais baratas. O uso dos recursos de construção e demolição é fundamental, para a conscientização quanto ao fato de que o ganho com a reciclagem é geral. A partir do momento em que se faz um melhor aproveitamento dos materiais outrora descartados como lixo, e que podem ser transformados em matéria-prima, fazendo com que um problema se transforme em solução (PATTO, 2010).

O setor da construção civil apresenta-se como uma das melhores alternativas para consumir materiais reciclados, pois a atividade de construção é realizada em qualquer região, o que já reduz custos como o de transporte. Com isso pode-se observar que o reaproveitamento dos resíduos da construção civil, transformados em fonte alternativa de matéria-prima, dentro do próprio setor construtivo, constitui-se de um desafio para o meio técnico-científico. Neste sentido, tem se tentado incorporar os resíduos de construção e demolição na produção de concretos convencionais, o que aumentaria seu potencial de utilização. Os resíduos na construção civil não são gerados somente por novas obras e empreendimentos, também existem as demolições de estruturas que em alguns casos geram uma quantidade enorme de material (JOHN, 2000).

É possível reciclar qualquer tipo de concreto, desde que se adote o uso adequado, e que as limitações técnicas sejam respeitadas. Os agregados reciclados que são provenientes de concretos estruturais apresentam qualidade melhor comparada àqueles agregados provenientes de argamassas e tijolos cerâmicos e podem ser utilizados em aterros de inertes, em obras de pavimentação de rodovias, como agregados para argamassas, ou até em reparos de estruturas. São dois os tipos de concreto que podem ser reciclados: resíduos provenientes das centrais dosadoras e, o mais comum, resíduos de concreto provenientes de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (GIOCCHI, 2003).

A geração de resíduos na construção, demolição e sua destinação correta, reintroduzindo tais materiais novamente na cadeia construtiva, são alternativas de minimizar o impacto ambiental gerado pelo setor da construção civil.

Nesse contexto a questão problema é: **Quais as propriedades do concreto convencional com a utilização de agregados oriundos de entulhos de obra?**

Com isso, procurou-se nesse trabalho analisar as propriedades do concreto convencional e com a utilização de agregados oriundos de entulhos de obra. Sendo que, para isso, foi buscou-se materiais provenientes de descarte de obras de edificações variadas, tendo como principal material o entulho gerado na obra. Depois da coleta, esse material foi selecionado e processado em um moinho, e posteriormente realizar a sua classificação. Foram fabricados um traço de concreto convencional, bem como outros dois traços dos concretos produzidos com substituição do agregado pelo da material da moagem. Por fim, determinou-se as propriedades no estado fresco e endurecido para todos os concretos produzidos.

A produção de resíduos denominados de entulho, a necessidade de reaproveitamento para benefício da natureza, e também a busca por redução dos custos, são fatores relevantes na indústria da construção civil atual. O descarte em aterros de tais materiais degrada o meio ambiente, e não é a alternativa mais correta, portanto a reciclagem se mostra necessária, além de que, pode se tornar economicamente rentável o reaproveitamento.

A junções desses fatores justificam a pesquisa proposta, como também, pela utilização destes resíduos como agregados para novas dosagens de concreto resultarão na redução de custos, como a diminuição da exploração dos agregados naturais. A fabricação de concreto com a adição de resíduos reciclados pode proporcionar baixo custo, tendo em vista que tais materiais são oriundos de descartes de construções.

2 REVISÃO TEÓRICA

Nesse capitulo é apresentado uma breve definição sobre os conceitos em relação ao tema escolhido.

2.1 CARACTERIZAÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

No entendimento de Ângulo et al (2002), a caracterização dos resíduos da construção e da demolição é indispensável no favorecimento do processo, para isso é necessário gerenciar de forma diferenciada a separação e processamento dos resíduos, como, a demolição seletiva, a eliminação de contaminantes, mudança no local de armazenamento de reciclagem, processamento, equipamentos de concentração e de britagem.

Machado (2014), esclarece que a saída para a variabilidade da constituição e das outras propriedades desses agregados pode ser a manipulação em pilhas de homogeneização,

diminuindo esta variabilidade. O que se propõe, é a utilização dos agregados em diversas aplicações, porém com um apropriado controle, possibilitando a valorização do resíduo.

Para Marinho (2011), os equipamentos e o processo de reciclagem empregados nas usinas afetam de forma as características dos agregados reciclados tais como em sua granulometria, forma dos grãos e resistência, composição e teor de impureza, podendo assim gerar diferentes materiais.

Mehta e Monteiro (2008), sugere que seja mais adequada a divisão das propriedades dos agregados nos seguintes grupos: ¨ Características relacionadas a porosidade, sendo; Massa especifica absorção de água resistência, dureza, módulo de elasticidade e estabilidade.

¨Características relacionadas as condições de exposição seguindo as previas restrições de fabricação como tamanho forma e textura das partículas.¨ Características dependentes da composição mineralógica e química: Resistência, módulo de elasticidade, dureza, e substâncias deletérias presentes.

2.2 UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CONCRETO E DE DEMOLIÇÃO

Angulo et al. (2002), afirmam que a utilização do resíduo da construção e da demolição, como agregado para composição de concreto pode ser feita em grande quantidade. Porém a sua utilização deve ser feita apenas para concreto de uso não estrutural, substituindo os agregados naturais como, pedra brita e areia, por agregados oriundos da reciclagem, respeitando a granulometria característica dos agregados naturais.

Segundo Miranda e Selmo (1999), após a britagem, é recomendado que se faça classificação e lavagem, este processo apresentou excelente resultado em estudo realizado com argamassa, demonstrando redução de variabilidade, dando melhoria na qualidade da areia reciclada, por promover a remoção dos excessos de finos e demais contaminantes leves, além de apresentar baixo custo de investimento.

Os mesmo autores (1999), citam que um levantamento da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas da Universidade de São Paulo (FIPE), para o projeto “Diretrizes para Mineração de Areia na Região Metropolitana de São Paulo”, constatou-se que a construção de uma unidade unifamiliar básica de 35 m² consome 21 toneladas de agregados; já uma unidade habitacional básica de 50 m², consome 68 toneladas; um edifício público com 1.000 m² de área construída consome 1.360 toneladas de agregados, podendo em todos estes casos se fazer

a substituição de grande parte dos agregados por agregados oriundos de resíduos da construção e demolição.

Angulo et al. (2002), afirmam que soluções para a utilização dos resíduos sólidos de construção reutilizado vêm sendo pesquisadas e aperfeiçoadas em vários centros urbanos como em Belo Horizonte onde, por exemplo, a Prefeitura foi capaz de desenvolver ferramentas para emprego de reciclados como base de pavimentos e a estratégia é empregada com sucesso demonstrado pelas obras efetuadas e acompanhadas.

2.3 CONCRETO

Segundo Petrucci (2005), a mistura em proporção adequada de cimento, agregados e água resultam num material de construção, o concreto, cujas características diferem substancialmente daquelas apresentadas pelos elementos que o constituem.

Para Budke (2011), uma das principais propriedades físicas do concreto para a execução é a trabalhabilidade, que pode ser determinada como uma propriedade do estado fresco que define a facilidade de como ser misturada, aplicada e acabada em uma condição homogênea. A ABNT/NBR NM 67 (1998) normatiza este ensaio.

De acordo com Ambrozewicz (2012), a resistência à compressão simples, é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio segundo a ABNT NBR 5738 de 2016 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados segundo a ABNT NBR 5739 de 2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

3 METODOLOGIA

Todo trabalho cientifico deve seguir uma metodologia que descreve as normas preestabelecidas para a finalidade já definida. Esses trabalhos deverão ser de caráter inédito e original, contribuindo para o aumento dos conhecimentos e servindo de modelo a ser seguido em outros trabalhos (MARCONI; LAKATOS, 2015).

Percebe-se que a presente pesquisa se classifica como método indutivo. Segundo Barros e Lehfeld (2007), a dedução consiste em um resumo metodológico em que a

racionalização ou a combinação de ideias em sentido interpretativo vale mais que a experimental de caso por caso.

O desenvolvimento desse trabalho se deu pelo nível de pesquisa explicativa, pois é necessário identificar fatores determinantes da ocorrência de fenômenos, sendo este o tipo de pesquisa mais próximo da realidade (GIL, 2008).

O delineamento dessa pesquisa classifica-se como: experimental. Nas afirmações de Gil (2008), a pesquisa experimental consiste em delimitar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que são capazes de influenciá-lo, e então definir os meios de controle e de observação dos efeitos que a variável produzirá no objeto.

Para se coletar os dados de uma pesquisa científica, define-se o propósito da pesquisa para então realizá-la. Existem diversas formas de coleta de dados, dentre elas questionários, entrevistas, observações, documentos, testes, histórias de vida, formulários, entre outros. Como o propósito da pesquisa, foi um estudo das propriedades do concreto convencional e com a adição de agregados oriundos de entulho de obra, é necessário realizar mediações. Essa designação se encaixa no instrumento de testes (MARCONI; LAKATOS, 2015).

A população dessa pesquisa são todas as possíveis amostras de materiais que podem substituir os agregados naturais no concreto. A pesquisa delimita-se a amostra de resíduos de construção e de demolição.

Marconi e Lakatos (2015), definem a população como sendo um conjunto de seres animados ou inanimados que possuem ao menos uma característica em comum, enquanto que amostra é dita como, uma porção ou parte selecionada pela conveniência desta população ou universo, que poderá ser submetida a análise por técnicas de amostragem específica.

A amostragem não probabilística é aquela cuja a escolha dos elementos de tal amostra é intencional, não proporcionando representatividade da população em relação a universalização dos resultados encontrados (RAMPAZZO; CORRÊA, 2008).

Para apresentação dos resultados, foram utilizadas técnicas quantitativas, pois é possível considerar tudo quantificável, já que através de números é possível classificar e analisar as informações alcançadas, buscando a validação de hipóteses, é necessário utilizar informações estruturadas, por modelos estatísticos, com maior número possível de dados, para por fim, encontrar um resultado final e conclusivo (MATTAR, 2001).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A coleta de dados para a realização dessa pesquisa foi efetuada por meio de testes no laboratório da UCEFF – Faculdades Campus Chapecó - SC.

Todos os materiais utilizados na confecção do concreto convencional e do concreto com adição de resíduo oriundo da construção e demolição tiveram aferidas suas propriedades, conforme determinam as normas técnicas da ABNT vigentes.

Os agregados (miúdo e graúdo) e o resíduo de construção e demolição foram caracterizados conforme:

a) ABNT/NBR NM 248 de (2003): Agregados - Determinação da composição granulométrica;

b) ABNT/NBR NM 53 de (2009): Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água;

c) ABNT/NBR NM 52 de (2009): Agregado miúdo – Determinação da massa especifica e massa especifica aparente;

O cimento utilizado seguiu a orientação seguinte:

d) ABNT/NBR NM 16605 de (2017): Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica.

As amostras de concreto produzidas as seguintes normas para o ensaio no estado fresco e endurecido:

e) ABNT/NBR NM 67 de (1998): Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone;

f) ABNT/NBR 5738 de (2016): Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;

g) ABNT/NBR 5739 de (2007): Concreto – Ensaio de compressão-de-corpo de prova cilíndricos.

Foram utilizadas as quantidade de 50 % e 100 % de substituição do agregado graúdo e miúdo por RCD. Esse material foi coletado de diversas obras da cidade de Xaxim – SC.

Após a coleta o RCD foi selecionado, e separadas as impurezas, tais como: metais, plásticos, madeira, materiais orgânicos, dentre outros. Foram coletados aproximadamente uma tonelada de entulho, com o auxílio do pessoal da produção e com a utilização de um contêiner de depósito. O entulho foi retirado da obra, posteriormente transportado até o local, no qual foi feita a redução granulométrica do RCD em um britador de mandíbula.

A classificação quanto a granulometria dos agregados produzidos a partir do RCD se deu por peneiramento. Todo o material que passou na peneira 19 mm teve sua classificação

como agregado graúdo, ou seja, brita 1, e os materiais que passaram pela peneira 6,3 mm foram classificados como agregado miúdo, ou seja areia.

A Figura , mostra os materiais já classificados quanto a sua granulometria e as peneiras utilizadas no processo.

Figura 1 - Materiais classificados

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Na Figura estão apresentados os agregados graúdos e agregados miúdos, provenientes do processamento pelo britador, e posterior classificação granulométrica.

Para se definir o traço do concreto a ser utilizado no trabalho, foi tomado como base o estudo de Zordan (1997). Dentre os traços utilizados pelo autor, optou-se por utilizar o traço 1:4:4.

Partindo desse traço, considerado como referência, foram elaborados outros dois traços com adição do RCD. Além da areia e pedra britada convencionais, esses materiais foram substituídos nas proporções de 50 % e 100 % por areia e pedra britada proveniente do processamento do RCD.

A Tabela 1 descreve os traços com seus percentuais de agregados naturais e agregados oriundos do RCD.

Tabela 1 – Descrição dos traços utilizados

Traços	Aglomerante	Agregados convencionais		Agregados oriundos de RCD		Relação água/cimento
Convencional	100%	100%	100%	-	-	0,5
50 % subst.	100%	50%	50%	50%	50%	0,5
100 % subst.	100%	-	-	100%	100%	0,5

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A relação água/cimento foi estipulada em torno de 0,5 e utilizada tanto para o traço convencional, quanto para os traços com adição de agregados provenientes de RCD, 50 % e 100 %, respectivamente. Na formulação do traço convencional, utilizado nesse estudo como referência utilizou-se o cimento Portland CP II Z - 32, a areia média tradicional, a pedra britada n° 1.

4.1 RESULTADO DOS ENSAIOS

Para caracterização dos agregados utilizados, sendo eles, a areia, pedra britada e o resíduo, os resultados obtidos por meio dos procedimentos determinados pela ABNT, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos traços utilizados

Ensaio	Areia Média	Brita 1	RCD - Areia	RCD - Brita	CP II Z - 32
DMC (mm)	0,6	19	0,6	12,5	-
Modulo de Finura	2,07	3,4	2,13	1,4	-
Massa Unitária (kg/m³)	1522,18	1469,28	1469,28	1049,2	-
Massa Específica (g/cm³)	2,4	2,4	2,08	1,62	3,04

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Todos os tipos de concreto foram produzidos utilizando uma betoneira com capacidade para 130 litros, onde inicialmente foi introduzido todo o agregado graúdo, e cerca de 70 % da água de amassamento, deixando a betoneira ligada pelo período de 5 minutos, e na sequencia o restante dos materiais foram adicionados.

Com o intuito de verificar a coesão do concreto produzido por meio do teor ideal de argamassa foi realizado o teste de abatimento de tronco de cone, logo após a mistura dos componentes do concreto. Mesmo esse processo sendo simples de se executar, exige certa prática, pois é necessário analise visual da mistura ainda na betoneira, para se obter uma consistência característica, a qual se possa ser ensaiada.

Foi respeitado para todos traços um abatimento de tronco cone de 10 ± 2 cm, a fim de assegurar maior regularidade nos concretos produzidos. A Figura 2 demonstra determinação de abatimento da mistura.

Figura 2 - Ensaio do abatimento de tronco de cone

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A Tabela 3 traz os valores correspondentes a relação água/cimento usada, bem como os abatimentos obtidos.

Tabela 3 – Resultados do ensaio do abatimento de tronco de cone

Traços	Relação água/cimento	Abatimento (cm)
Convencional	0,52	8
50 % subst.	0,53	9
100 % subst.	0,54	9

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Respeitando a relação de a/c de aproximadamente 0,5 para todos, é percebido que os traços com a adição dos agregados oriundos de RDC, necessitaram de uma quantidade maior de água.

Esta adição de água se fez necessária, por causa das características apresentadas pelo agregado graúdo, por este possuir uma superfície mais porosa do que o agregado graúdo convencional. Depois da produção de cada concreto e realizado o ensaio no estado fresco de abatimento de tronco de cone, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de 10 cm diâmetro por 20 cm de altura, sendo moldados em duas camadas, cada uma recebendo doze

golpes com haste metálica, de acordo com a ABNT/NBR 5738 (2015). A Figura 3 demonstra moldagem de nove corpos de prova cilíndricos.

Figura 31 - Moldagem de corpos de prova

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Depois de moldados, os mesmos foram rasados e identificados, deixando-os secar pelo período de 24 horas, sendo desmoldados ao término desse prazo e submergidos em água, até atingir os prazos para o processo de rompimento e coleta dos dados, os quais aconteceram aos 7, 14 e 28 dias de idade. Foram produzidos um total de vinte e sete corpos de prova, onde foram confeccionados nove corpos de prova para cada traço, a fim de se romper três amostras nas idades de 7, 14 e 28 dias de idade.

Após o tempo de cura dos corpos de prova, os quais ficaram submersos em água saturada com cal com temperatura controlada, pelo período determinado a cada idade de rompimento, foi necessário o preparo das amostras, com a finalidade de seguir os parâmetros normatizados, e com isso conseguir medir os resultados que compõe esse estudo.

Para se determinara a resistência característica dos corpos de prova aos 7, 14 e 28 dias foram seguidas as orientações estabelecidas pela ABNT/NBR 5739 (2007).

Antes do rompimento as amostras foram submetidas a uma retífica utilizada para regularização das faces dos corpos de prova, feita por disco diamantado. Nesse processo se faz necessário efetuar a regularização das faces dos corpos de prova, os quais terão contato com a prensa, a qual aplicará a força de compressão nos corpos de prova. Da face da amostra foi retirado uma fina camada, deixando a superfície plana e uniforme. A

Figura 424 mostra a prensa utilizada no ensaio de rompimento dos corpos de prova cilíndricos.

Figura 42 - Prensa hidráulica

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A prensa hidráulica utilizada estava devidamente calibrada, aferida e preparada para o ensaio. De posse das informações com os ensaios de ruptura dos corpos de prova moldados, por meio dos traços confeccionados, foram elaboradas tabelas para melhor representar as informações coletadas.

As tabelas foram divididas por cada traço produzido, e nelas apresentadas as idades de rompimento, os valores de resistência obtidas em cada ensaio, e ainda o cálculo o desvio padrão de cada média de resistência obtida. As resistências obtidas para o traço convencional são apresentadas na Tabela 414.

Tabela 41 - Análise do concreto convencional

Traço	7 Dias (MPa)	14 Dias (MPa)	28 Dias (MPa)
	27,18	32,06	34,75

Convencional		23,83		30,07		31,58
		24,56		32,21		35,86
	Méd.	25,19	Méd.	31,45	Méd.	34,06
	D.P.	1,44	D.P.	0,98	D.P.	1,81

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Nota-se a evolução da resistência média para cada idade ensaiada, nesta também é apresentada a variação do desvio padrão, que aos 7 dias foi de 1,44, aos 14 dias 0,98, e pôr fim aos 28 dias foi de 1,81. A Tabela 525 traz as informações dos ensaios do traço com 50 % de substituição do agregados convencionais por RCD.

Tabela 52 - Análise do concreto com 50 % de substituição

Traço		7 Dias (MPa)		14 Dias (MPa)		28 Dias (MPa)
		26,03		28,32		27,97
50 % subst.		25,89		27,36		28,88
		26,01		27,25		28,93
	Méd.	25,98	Méd.	27,64	Méd.	28,59
	D.P.	0,06	D.P.	0,48	D.P.	0,44

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Na análise do traço com 50 % de substituição, o padrão de ganho de resistência também se repete, com o passar das idades de rompimento, atingindo a resistência máxima ensaiada aos 28 dias, já o desvio padrão obtido foi de 0,06 para os 7 dias, aos 14 dias foi de 0,48, e 0,44 para os 28 dias.

Para o traço com 100 % de substituição dos agregados, o comportamento de aumento da resistência obtido no ensaio de compressão, também seguiu o mesmo comportamento. Estas informações são apresentadas na

Tabela 636.

Tabela 63 - Análise do concreto com 100 % de substituição

Traço		7 Dias (MPa)		14 Dias (MPa)		28 Dias (MPa)
		27,87		28,85		26,34
100 % subst.		25,45		27,62		29,94
		24,87		26,80		29,34
	Méd.	26,06	Méd.	27,76	Méd.	28,54
	D.P.	1,30	D.P.	0,84	D.P.	1,57

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

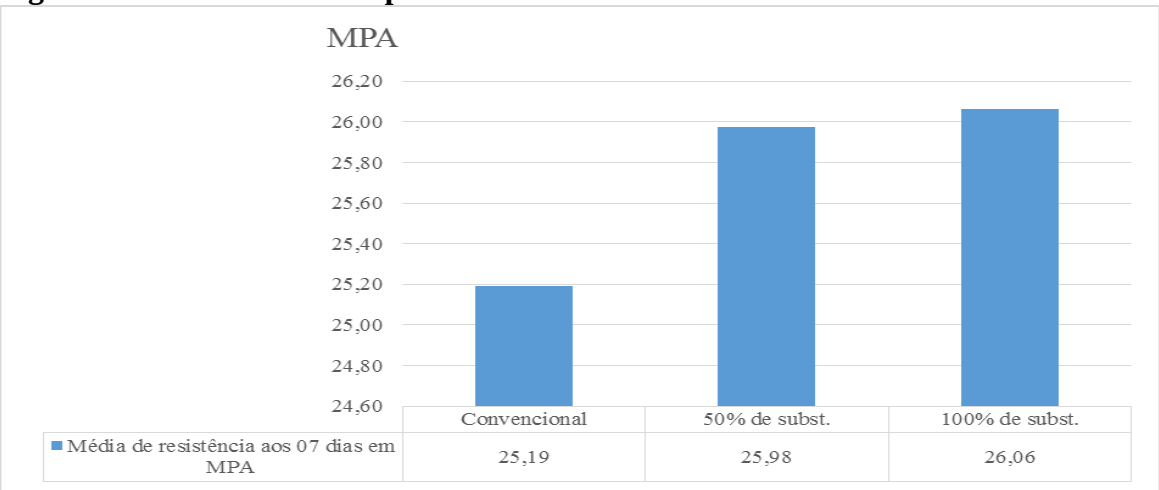
No decorrer das idades de rompimento ouve o ganho gradativo de resistência, já os valores correspondentes ao desvio padrão foram de 1,30 os 7 dias, 0,84 aos 14 dias, e aos 28 dias de cura foi de 1,57.

4.1.1 Análise dos resultados das amostras por idade de ensaio

Os primeiros corpos de prova foram rompidos em sua fase inicial de cura ao prazo de 7 dias. Nesta idade é possível verificar um pequeno, porém sutil ganho de resistência das amostras com a adição do RCD, em relação ao traço convencional.

A Figura 5 traz o comparativo da média de resistência à compressão aos 7 dias para todos os tipos de concreto.

Figura 5 - Resistência à compressão aos 7 dias

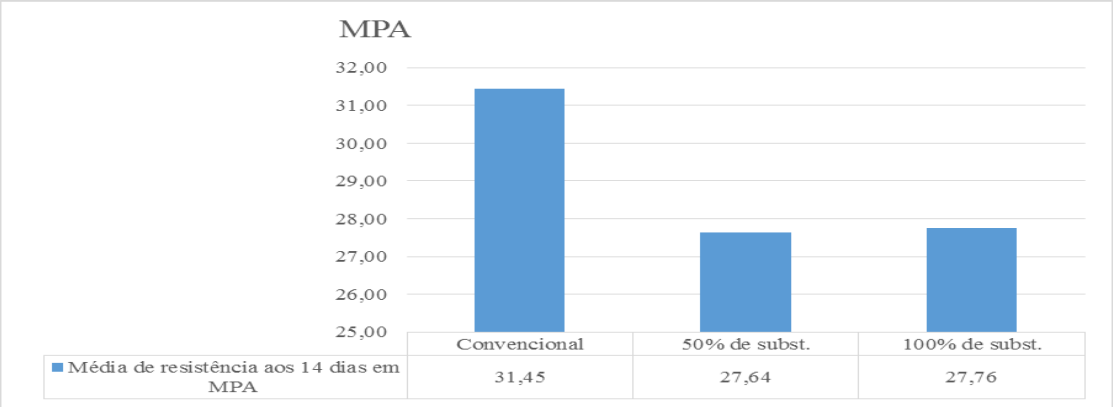


Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O Gráfico 1 mostra a diferença de resistência nos três traços estudados, sendo possível identificar os resultados, e também perceber que mesmo pequena, existe uma diferença na resistência, onde a média final de cada concreto produzido com traços diferentes, demonstra superioridade nos traços produzidos com RCD, e bem mais para o concreto produzido com 100 % de substituição dos agregados por RCD.

Como no período de 7 dias, as amostras aos 14 dias também respeitaram o período de cura, e posteriormente o processo adotado para o ensaio foi o mesmo que utilizado na fase anterior. É apresentado na Figura 6 a média das resistências dos concretos rompidos aos 14 dias.

Figura 6 - Resistência à compressão aos 14 dias



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

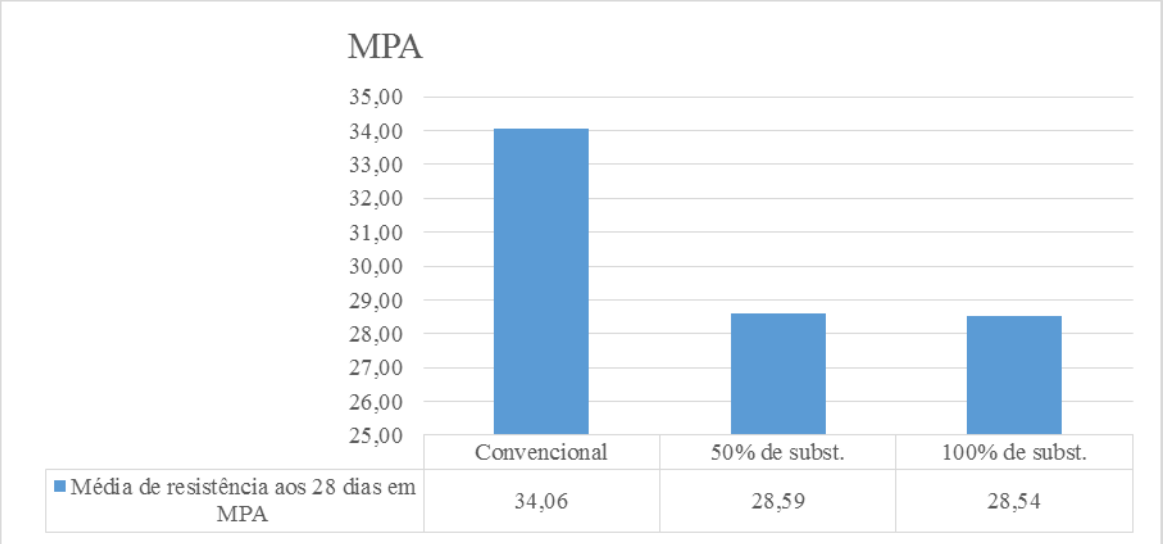
Percebe-se uma diferença em relação ao rompimento aos 7 dias, pois aqui, a média final de resistência dos corpos de prova com adição de RCD ficaram abaixo da resistência dos corpos de prova confeccionados com agregados convencionais, havendo uma diferença maior entre seus valores. Também é percebido que o traço produzido com 100 % de substituição apresenta uma pequena superioridade, em relação a resistência obtida com o traço produzido com 50 % de adição do RCD. Com isso, pode-se observar a diferença na resistência apresentada pelo concreto convencional em relação aos com adição do RCD.

Na última idade de ensaio, bem como nas outras duas fases, também foi respeitado o período de cura dos corpos de prova, sendo o período de 28 dias para a realização dos ensaios de rompimento por compressão dos corpos de prova moldados. O processo de rompimento adotado foi igual para as três idades analisadas, também foram utilizados os mesmos equipamentos e laboratório.

Como já observado anteriormente, o concreto produzido com agregados convencionais, mostrou um aumento na sua resistência com ao passar das idades de rompimento.

Comparando o concreto convencional, aos concretos produzidos com a substituição de RCD, o primeiro atingiu uma resistência média de 34,06 MPa, resultando em 28,59 MPa a resistência do concreto com 50 % de adição, e 28,54 MPa o concreto com 100 % de substituição dos agregados por agregados de RCD. Figura A Figura 7 traz a diferença da resistência obtida aos 28 dias para cada traço de concreto produzido.

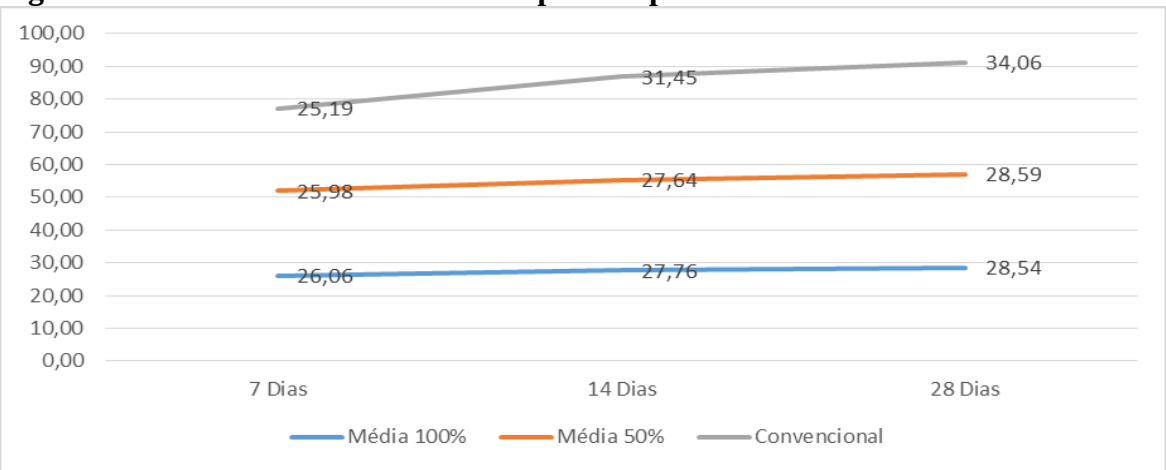
Figura 7 - Resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com isso, mostra-se que o concreto convencional possui maior resistência à compressão, também aos 28 dias, comparado aos outros tipos de concretos. De uma forma geral, a Figura 8 apresenta a curva evolutiva das resistências para todos os concretos em todas as idades.

Figura 8 - Média das resistências à compressão para todas as idades



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

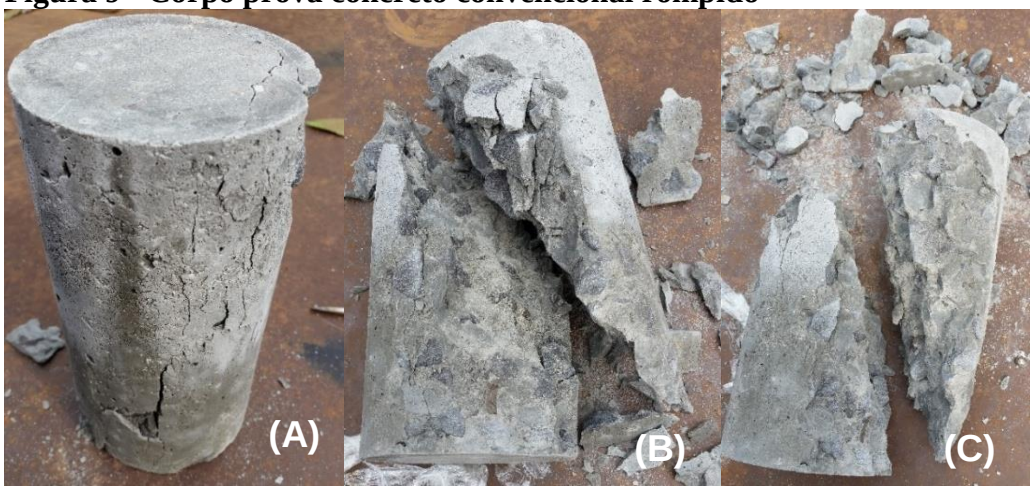
Para melhor compreensão dos dados descritos nas tabelas, as médias são representadas graficamente, mostrando assim a curva da evolução do aumento da resistência, dos corpos dos concretos produzidos e ensaiados nas três idades.

4.1.2 Análise do rompimento dos amostras

Após o rompimento dos corpos de prova, moldados com os traços de concreto desse estudo, foi realizada uma análise visual dos mesmos, quanto ao rompimento, verificando desta forma, como ocorreu, e como os elementos se apresentaram após o ensaio, está analise fora realizada para os três traços estudados.

Na Figura 9 é demonstrado a separação dos materiais no concreto convencional.

Figura 9 - Corpo prova concreto convencional rompido



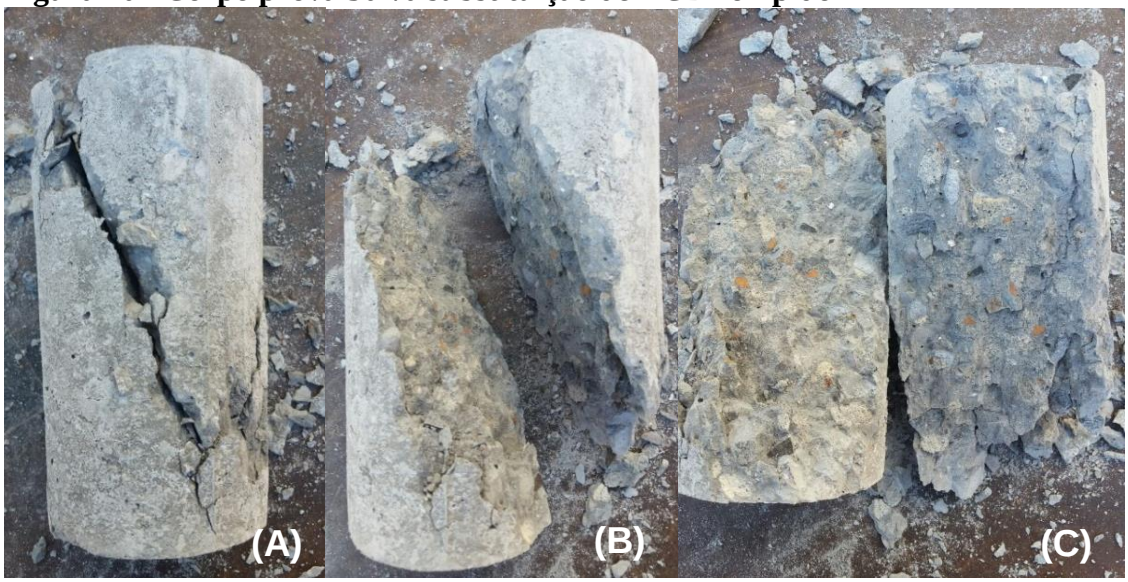
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A Figura 9 A apresenta o molde com as fissuras características do rompimento por compressão, já na Figura 9 B e C, é possível identificar como se deu o rompimento e separação das duas partes originadas, nela é percebido que o agregado miúdo, separou-se do graúdo, este se manteve com as características originais, ou seja, não sofreu ruptura e nem deformação, porém o agregado miúdo, se fragmentou, e separou-se do graúdo.

Já, no rompimento dos corpos de prova do traço com a substituição de 50 % dos agregados, mesmo a ruptura tendo sido de forma semelhante, na análise visual da amostra após o rompimento, verificou-se que na separação das partes originadas pelo ensaio, os agregados tiveram comportamentos diferentes. O agregado graúdo, de origem do processamento do RCD, sofreu a ruptura, não se separando do agregado miúdo, diferentemente do agregado graúdo do concreto convencional, o qual mais uma vez separou-se do agregado miúdo.

A Figura 10 ilustra os corpo de provas, com adição de 50 % de agregado de RCD.

Figura 10 - Corpo prova 50 % substituição de RCD rompido

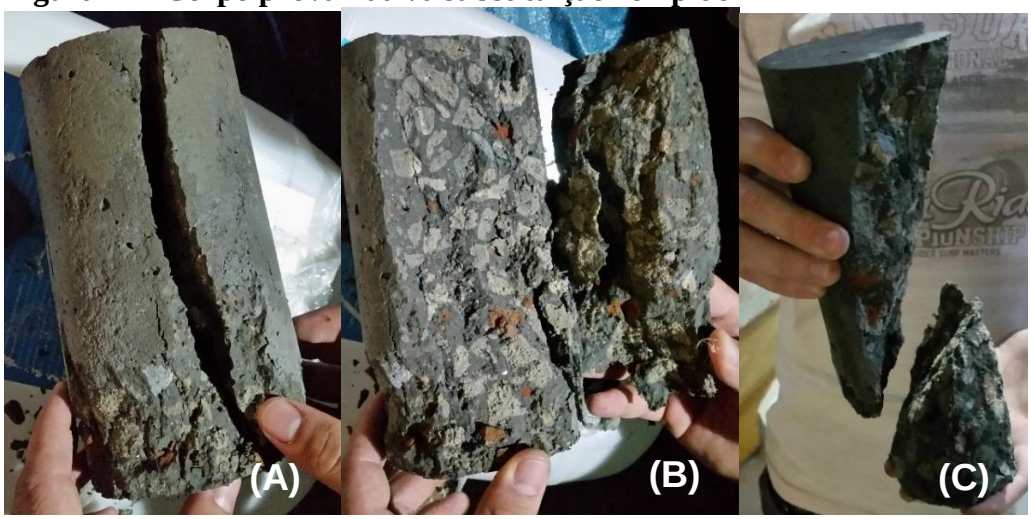


Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Com esse método de análise utilizado, não se percebeu diferenciação de comportamento dos agregados miúdos, convencional e de origem de RCD.

As Figura 10, A; B e C, ilustram a separação das partes do corpo de prova rompido, sendo visível na Figura 10 C, os agregados graúdos de origem do RCD rompidos depois do ensaio. O corpo de provas com 100 % de substituição rompido é demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Corpo prova 100 % substituição rompido



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

No rompimento dos corpos de prova que foram moldados com o concreto, que utilizou somente agregados provenientes do processamento do RCD, o rompimento se deu por completo, ou seja, não aconteceu a separação do agregado graúdo do agregado miúdo, ao

invés disso, o agregado graúdo se partiu, não possibilitando a separação dos mesmos, como é possível observar na Figura 11. Na Figura 11 A, mostra-se o corpo de prova fraturado verticalmente, e na Figura 11 B, torna-se fácil identificar os agregados graúdos fraturados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da expressiva porcentagem de entulho de concreto gerado nos processos construtivos, o valor financeiro desperdiçado com esse entulho, a destinação incorreta dada a este material, e os problemas que são gerados por estes, justificam esse estudo.

A construção civil apresenta um cenário de constante transformação e inovações, seja nos métodos construtivos, como também nos materiais empregados na execução dos projetos elaborados.

Para o desenvolvimento desse trabalho tinha-se como objetivo geral o estudo das propriedades do concreto convencional e com a utilização de agregados oriundos de entulho de obra. Para se alcançar esse objetivo foram delimitados quatro objetivos específicos, buscar materiais provenientes de descarte de obras de edificações variadas, tendo como principal material o entulho gerado na obra. Esse objetivo foi alcançado, pois a partir da construção de uma nova edificação, onde a mesma produziu entulho, sendo este coletado para o estudo.

O outro objetivo específico era processar esses materiais selecionados, em um moinho, e posterior classificação do mesmo. O objetivo foi alcançado, com a utilização de um moinho britado, o qual fez a redução granulométrica das partes do entulho coletado, também, se fez uso de peneiras para a classificação granulométrica desse entulho processado, e deixar o mesmo com tamanho determinado em norma vigente.

Além disso, outro objetivo específico se propôs fabricar um traço para o concreto convencional, e outros traços para o concreto com substituição do agregado produzido na moagem. Esse objetivo foi alcançado com auxílio dos equipamentos disponibilizados pelo laboratório de concreto da UCEFF – Faculdades, do qual se fez uso para produção do traço convencional, utilizado nesse estudo como traço referência, e também para a produção de um traço de concreto com a substituição de 50 % dos agregados nele contido, e por fim, um traço com 100 % de substituição dos agregados convencionais por agregados produzidos a partir do processamento do entulho de obra.

Como último objetivo específico delimitado para este estudo pretendia-se determinar as propriedades no estado fresco e endurecido para todos os concretos produzidos. Para isso,

também se fez uso do laboratório da UCEFF – Faculdades. No estudo do concreto no estado fresco, foram analisadas suas propriedades por meio do teste de abatimento de tronco cone, a fim de verificar a coesão e o teor de argamassa nos três concretos produzidos.

Para estudo dos concretos em seu estado endurecido, foram moldados nove corpos de prova para cada concreto produzido, totalizando vinte e sete amostras. Para a moldagem dos corpos de prova foram seguidas as orientações normativas, sendo que, foram ensaiados por meio de seu rompimento acontecendo em três diferentes idades, aos 7 dias, 14 dias e 28 dias, de cura molhada, período este que os corpos moldados permaneceram submersos em água com temperatura controla.

Com os ensaios de resistência à compressão foram coletados dados, e a partir disso, elaboradas tabelas e gráficos para melhor entendimento das informações obtidas, quanto a resistência dos concretos produzidos e rompidos nas diferentes idades.

Com esse estudo conclui-se que a utilização de resíduo da construção e da demolição, como agregado para produção de novos traços de concreto, é possível, tendo em vista, a trabalhabilidade no estado fresco, e a resistência no estado endurecido. Outro fator é o econômico, levando em consideração que se faz uso novamente daquilo que seria descartado como lixo, gerando assim, o desperdício econômico de materiais, e também com o armazenamento e descarte desses materiais, e principalmente por fatores ecológicos, pois com a reutilização desses materiais, é eliminado seu descarte em aterros ou depósitos clandestinos.

Sugere-se para novos estudos, a elaboração de diferentes traços de concreto, a fim de verificar as suas características com maior amplitude, também se sugere a análise econômica por meio de levantamento de custos com a coleta, processamento, classificação do entulho, e produção de concreto, elaborando planilhas orçamentárias e comparativas com traços de concretos usuais. Outro estudo, que também pode ser realizado, seria quanto a utilização do concreto com adição do resíduo de construção e demolição, analisando e indicando possíveis aplicações para esses concretos nas obras.

REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S.C. et al. **Desenvolvimento de novos mercados para reciclagem massiva de RCD**. In: Seminário de Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil. São Paulo, 2002.

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de construção.** São Paulo, Editora Pini, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53** "Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água". Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52** "**Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**". Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248** "**Agregados - Determinação da composição granulométrica**". Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 5739** "Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos". Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** "Concreto – Procedimento para moldagem de corpos-de-prova". Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

BARROS, Aidil Jesus Paes. LEHFELD, Neide Aparecida de. **Fundamento da Metodologia Cientifica**: um guia para iniciação cientifica. São Paulo: Makron Books, 2007.

BUDKE, Régis; CARDOSO, Jackson R.; VALE, Silvio B. do. **Resíduos de Construção Civil: Classificação, normas e reciclagem**. Artigo do XXIV ENTMME. Engenharia de Minas e Meio Ambiente. Salvador, 2011.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projeto de pesquisa.** 4. Ed. – São Paulo: Atlas, 2008.

GIOCCHI, Luiz. **Reciclagem de concreto.** São Paulo: PINI Equipe de obra, Ed. 32. Setembro 2003. Disponível em< http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/reciclagem-de-concreto-80112-1.aspx> Acessado em 08 Mar. (2017).

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduo na Construção Civil:** Contribuição a Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. 2000. 113p. Tese (livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MACHADO Geylsson B. **Reciclagem de resíduos sólidos da construção civil**. São Paulo: Portal Resídous Sólidos, 2014. Disponível em<http://www.portalresiduossolidos.com/reciclagem-de-residuos-solidos-da-construcao-civil/ > Acessado em 28 Abr. (2017).

MARCONI, Marina de Andrade. LAKASTOS, Eva Maria. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, analise e interpretação de dados.** 7. Ed. 8 reimpr. – São Paulo: Atlas, 2015.

MARINHO, Marília Neves. **Análise do desempenho mecânico de concretos betuminosos usinados a quente com o uso de agregado graúdo reciclado de concreto**. 146p. Dissertação

(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

MATTAR. R.N. **Pesquisa de marqueting.** 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, n. 573 out. 2008, p. 17.

MIRANDA, Leonardo F. R.; SELMO, Sílvia M. S. **Avaliação de argamasass com entulhos reciclados por procedimentos racionais de dosagem**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais. p. 295-307. Vitória, 1999.

PATTO, Andre Luiz duqui brunini. **Minimização de impactos ambientais com a utilização de resíduos de construção e demolição como agregados**. Taubaté, Editora IBRACON, 2010.

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião; PAULON, Vladimir Antonio. **Concreto de cimento Portland**. 14. Ed Porto Alegre: Globo, 2005. 307p.

RAMPAZZO, S. E.; CORRÊA, F.Z.M. **Desmistificando a Metodologia cientifica:** Guia Prático para Produção de Trabalhos Acadêmicos. Erechim: Habilis, 2008.