



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

LARISSA IANDRA DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO RECICLADO**

**BARBACENA/MG
2022**

LARISSA IANDRA DA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO RECICLADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – FUPAC como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Deysiane Antunes Barroso Damasceno.

**BARBACENA/MG
2022**

Silva, Larissa landra da. **Utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para produção de concreto reciclado.** Barbacena: 2022. 24 p. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Centro Universitário Presidente Antônio Carlos.

Resumo: O resíduo sólido da construção civil é gerado de um processo de produção dinâmico e com mudanças constantes, encerrando e iniciando tarefas e serviços distintos utilizando cada um, um tipo de material diferente. Gerando resíduos com diferentes origens e classes, os orgânicos como madeira, papelão, plásticos e materiais betuminosos (impermeabilizantes) e os inorgânicos como bloco e revestimentos cerâmicos, argamassas e sobras de concreto, entre outras matérias que venham a ser utilizadas pelos colaboradores durante a execução do serviço. Frente a isso, este trabalho teve por objetivo analisar a utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para produção de concreto reciclado. Para isto, desenvolveu uma pesquisa bibliográfica envolvendo estudos que buscavam estabelecer os parâmetros de comparação entre o concreto convencional e o reciclado, com o foco nos seguintes parâmetros: granulometria, absorção de água e resistência do agregado reciclado. Traços de concreto com utilização de agregados reciclados, assim como, traços de referência com agregados naturais também foram estudados por diferentes autores que apontaram as vantagens e desvantagens em utilizar os agregados reciclados na construção civil.

Palavras-chave: Agregado. Construção. Concreto reciclado.

Abstract: Solid waste from civil construction is generated from a dynamic production process with constant changes, ending and starting different tasks and services using each one, a different type of material. Generating waste with different origins and classes, organic waste such as wood, cardboard, plastics and bituminous materials (waterproofing) and inorganic waste such as ceramic blocks and coatings, mortars and leftover concrete, among other materials that may be used by employees during execution of the service. In view of this, this work aimed to analyze the use of recycled aggregates from construction and demolition waste for the production of recycled concrete. For this, it developed a bibliographical research involving studies that sought to establish the comparison parameters between conventional and recycled concrete, with a focus on the following parameters: granulometry, water absorption and resistance of the recycled aggregate. Concrete mixes using recycled aggregates, as well as reference mixes with natural aggregates, were also studied by different authors who pointed out the advantages and disadvantages of using recycled aggregates in civil construction.

Keywords: Aggregate. Construction. Recycled concrete.

1 INTRODUÇÃO

O resíduo sólido da construção civil é resultado de um processo de produção dinâmico e com mudanças constantes no início e encerramento de tarefas e serviços com utilização de materiais diferentes.

Tais sobras possuem diferentes origens e classes, os orgânicos como madeira, papelão, plásticos e materiais betuminosos (impermeabilizantes) e os inorgânicos como blocos e revestimentos cerâmicos, argamassas e sobras de concreto, além de outros materiais utilizados pelos colaboradores durante a execução da obra (JOHN, 2015).

Dentro desse contexto, o presente trabalho visa responder à questão problema de quais resíduos do setor da construção civil podem ser reutilizados pelo próprio setor, mais especificamente como agregados servem para a produção de concreto reciclado.

Tal análise se justifica, pois soluções de reciclagem econômicas são necessárias com urgência para enfrentar o problema crescente de resíduos na construção civil e diante da necessidade de um planeta mais sustentável.

Para alcançar a resposta tratou-se de realizar uma revisão da literatura baseada em artigos publicados nas bases de dados SCIELO (*Scientific Electronic Library Online*) e Google acadêmico contemplando pesquisas experimentais de outros autores obtendo a combinação de dados empíricos e teóricos.

Foram analisados 3 trabalhos que discutem parâmetros e características relacionadas ao concreto reciclado de diferentes tipos, sendo eles: absorção de água, granulometria e resistência à compressão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral é analisar a utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para produção de concreto reciclado.

2.2 Objetivos específicos

Já os objetivos específicos consistem em:

- Analisar aspectos da construção sustentável;
- Relatar o conceito de resíduos de construção civil (RCC);
- Discutir sobre a utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para produção de concreto reciclado;
- Demonstrar uma comparação entre traço de concreto utilizando os agregados naturais e os outros traços utilizando os reciclados;
- Trazer tipos de amostra diferentes onde pode-se obter versatilidade de agregados.

3 DESENVOLVIMENTO

A Construção Civil abrange todo empreendimento imobiliário, obras de edificações, tais como casas, templos e outros tipos de edifícios. Ela está presente desde as antigas civilizações, onde foram construídas as primeiras moradias, desde então está em constante desenvolvimento nas sociedades (ABRECON, 2013).

A indústria da construção civil está sempre em crescimento devido a construção de moradias, indústrias, edifícios, estradas etc. Além de ser fundamental para desenvolvimento e economia do país (ARRUDA, 2015). E nesse cenário, o setor utiliza equipamentos e tecnologias avançadas permitindo a agilidade e melhor execução de obras de grande e pequeno porte. Outro fator que melhora o cumprimento das etapas de uma estrutura são as normas técnicas que regulamentam a execução, e sindicatos de todas as áreas que dão norte às atitudes e ações.

Essa evolução permitiu o aprimoramento de técnicas construtivas, modernos aparelhos e estudos tecnológicos avançados, facilitando a utilização e aplicação por profissionais e empresas da área. Todavia, além dos impactos socioeconômicos gerados diretamente na sociedade, a construção civil resulta também em impactos ambientais (VAHAN, 2013).

Um ponto negativo e um dos principais obstáculos do desenvolvimento sustentável na construção civil são os resíduos que, sendo de grande volume e de difícil e oneroso transporte, o material nem sempre recebe o direcionamento correto para o descarte. Busca-se como solução sustentável, a reutilização desses resíduos para reduzir os impactos ambientais gerados pelo descarte incorreto, redirecionando

sua função e empregabilidade, por consequência, minimizando-se a extração dos recursos naturais (SIMONI; *et al*, 2015).

O conceito de resíduos de construção civil pode, em sua totalidade, ter vários sinônimos, isso conforme época e lugar, dependendo ainda das condições econômicas, ambientais, sociais e tecnológicos. Resíduo é a designação usada para o significado de sobra no processo produtivo, seja ele industrial ou não. A RESOLUÇÃO CONAMA nº 307, em suas atribuições estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de Resíduos da Construção Civil (RCC) que são provenientes de construções, demolições, reformas e até da preparação e escavação de uma obra (PMSB, 2020).

São considerados como RCC, por exemplo, o próprio solo da escavação, rochas retiradas para a fundação, materiais metálicos como os restos dos utilizados para construção da obra ou ferramentas, blocos cerâmicos, telhas, vidros, a própria cerâmica, forro, gesso, argamassa, restos de concreto, madeiras, plásticos, tubulações, fiação elétrica, ou seja, basicamente todos os materiais de forma direta ou indireta são utilizados ou retirados em algum momento (PMSB, 2020). Então, a NBR 10004 (ABNT, 2014, p. 1), define que resíduos nos estados sólidos e semissólidos são aqueles que “resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”.

Na classificação dos resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, estabelecida por essa mesma norma, os resíduos de construção civil (RCC) são enquadrados na classe II B, os inertes. Isso quer dizer que esses resíduos, quando submetidos ao ensaio de solubilização, realizado segundo a NBR 10006 (ABNT, 2004b), não devem ter qualquer um de seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

O termo RCC é bem abrangente, eis que dentro dessa classificação ainda há subdivisões dos resíduos, por categorias, quanto a toxicidade, possibilidade de reciclagem, forma correta de descarte e/ou tratamento especial (PMSB, 2020).

Uma das classificações de resíduos ordena-os por A, B, C e D. As escórias da classe A, foco do presente trabalho, são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregado, decorrentes de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de edificações, e da fabricação ou demolição de pré-moldados produzidos em canteiros.

Vahan (2013), quando se analisa a composição dos resíduos de construção e demolição das cidades, percebe que sua composição, em geral, possui elevados percentuais de concreto, material cerâmico e argamassa, independentemente da região, estado ou país em que foram gerados. Com relação à quantidade de resíduos gerados, ela varia com o tipo de cidade e sua população, assim como o patamar de desenvolvimento econômico de cada região.

Os resíduos reciclados podem, futuramente, retornar para o ambiente de construção, seja de construtoras ou pavimentadoras, que farão o uso do material ou ainda podem ser distribuídos para órgãos públicos e pessoas físicas.

De acordo com Silva (2016), a reciclagem pode ser utilizada para pavimentações como base, sub-base, revestimento primário, na forma de brita ou em mistura de resíduo com solo; agregado para concreto não estrutural (resíduos processados pelas usinas de reciclagem e utilizados a partir da substituição dos agregados convencionais, como areia e brita) e o agregado para confecção de argamassa, originados após o processamento correto (através de argamassarias) que envolve a trituração do próprio entulho da obra, em granulometrias semelhantes a da areia.

O Brasil passou a adotar novo modelo de gestão e manejo dos resíduos indicando um novo e promissor cenário, uma vez que abre fontes de parceria entre a iniciativa pública e a privada (CARDOSO, 2017).

3.1 Elementos constituintes do concreto

O concreto é formado por quatro elementos constituintes distintos: cimento *Portland*, água, agregados miúdos e agregados graúdo. De acordo com Mehta & Monteiro (2014), os agregados não influenciam diretamente em reações químicas com a água, e devido a este fato são chamados material de enchimento inerente ao concreto. O agregado pode ser definido ainda como sendo um material particulado, de atividade química praticamente nula, formada por uma mistura de partículas de tamanhos variados.

Ainda de acordo com os autores citados, os agregados podem ser classificados conforme suas dimensões e a massa específica, onde o termo agregado graúdo é usado para partículas cujo a dimensão é igual ou maior a 4,75

mm retidas nas peneiras de número 4, normatizada pela NRB NM ISSO 2395 (ABNT, 1997), já as partículas com dimensão inferior a citada são chamadas de agregados miúdos e ficam retidos em peneiras com tamanhos inferiores (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

As propriedades do concreto dependerão, portanto, das características dos seus agregados, dentre as quais pode-se citar: massa específica aparente, porosidade, composição granulométrica, forma e textura. A resistência, compreensibilidade dos concretos endurecidos está diretamente relacionada à porosidade e à composição mineralógica dos agregados a serem utilizados na confecção do concreto, isso porque, quanto mais poroso for o agregado mais água será gasta para preencher seus vazios, e isso afetará diretamente na relação água/cimento (LIMA, 2022).

Os agregados podem ser classificados ainda como minerais naturais e artificiais. Os minerais naturais abrangem aproximadamente 90% do total dos produtos usados para a confecção do concreto, e compreende materiais como areia, pedregulho e pedra brita, proveniente de jazidas naturais. Já os artificiais são materiais termicamente processados, como argila, bem como materiais produzidos por meio de rejeitos industriais, como as escórias de alto forno e cinzas volantes (MEHTA E MONTEIRO, 2015).

Os agregados podem ainda ser ordenados segundo o peso específico aparente dos materiais tornando-se leves, médios e pesados. Os leves compreendem o grupo das argilas expandidas e a escória granulada. Os agregados médios compreendem o calcário, o cascalho, granito, areia e a escória. Por fim, os pesados compreendem barita e a magnetita (COUTO, 2013).

3.1.1 Areia

A areia natural quartzosa, conhecida popularmente como areia comercial, em conjunto com a areia artificial (material obtido pela fragmentação de rocha e que passa pela peneira de 4,8 mm), contendo um diâmetro máximo de 4,8 mm, compõem os agregados miúdos (YAZIGI, 2008).

De acordo com Albuquerque (2000), a areia pode ser classificada como um sedimento geológico clássico inconsolidado, proveniente de grãos de quartzo

extraído de rios, de britagem, de praias e dunas ou então de escórias. O mesmo autor justifica ainda porque as areias extraídas e provenientes de praias e dunas brasileiras não são empregadas na construção civil. Em decorrência da sua grande concentração de cloreto de sódio, o material pode interferir significativamente na qualidade do produto.

A composição granulométrica da areia é de aproximadamente 0,06 mm até 2 mm de diâmetro, segundo a NBR NM 248 (2008). Para a determinação da composição, utilizam-se peneiras da série normal e intermediária, e a partir dos valores de massas retidos em cada peneira, descreve-se a classificação. Os ensaios de determinação de massa específica, o qual descreve os procedimentos para obtenção de valores estipulados em relação a massa volume dos agregados miúdos e ensaio para determinação da absorção de água, são normatizados pela NBR 16916 (ABNT, 2021).

3.1.2 Brita

A brita, de acordo com Yazigi (2008), também conhecida como pedra britada, juntamente com o pedregulho natural, é caracterizada como o agregado graúdo, o qual deve possuir diâmetro mínimo superior a 4,8 mm. Os agregados graúdos podem ser definidos de acordo com a sua composição mineralógica, e são extraídos de rochas compactas denominada jazidas, podendo inclusive enquadrar-se em diversas classificações, definidas a partir da NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Para a classificação dos agregados, a normativa inerente aos ensaios das peneiras de série normal e intermediária é a NBR NM 248, responsável por classificar o tipo de brita de acordo com a quantidade de material que ficou retido em cada peneira associado ao seu diâmetro. O ensaio de determinação de massa específica, massa específica aparente e de determinação da absorção de água é realizado conforme NBR NM 53 (ABNT, 2003), a qual descreve os procedimentos para a estipulação do volume dos agregados e absorção de água.

Ainda de acordo com Yazigi (2008), a brita pode ser caracterizada por razões comerciais, em pedrisco, com diâmetros de 4,8 mm até 9,5 mm; brita 1 com diâmetro de 9,5 mm a 19, 0 mm; brita 2 com diâmetros de 19 a 38 mm e brita 3 com diâmetro de 36,0 até 76 mm, e pedra de mão, também conhecida como rachão, ou seja, aquelas pedras cujo a dimensão é maior do que 76 mm.

3.1.3 Aditivos

Entre os agregados tem-se ainda os aditivos definidos como produtos não indispensáveis usados na produção de concretos e argamassas, responsáveis por promover o aparecimento ou reforço de determinadas características e propriedades do material, seja em seu estado fresco ou em seu estado endurecido. Baseado na normativa Norte Americana ASTM C-125 (2001), o aditivo é considerado o material empregado como componente do concreto ou ainda da argamassa, adicionado imediatamente, antes ou durante a mistura, que não seja água, agregado, cimento hidráulico ou fibras (DE MOURA, 2020).

Os aditivos são definidos pela NBR 11.768 (ABNT, 1992) como produtos adicionados, agregados ao cimento Portland, que em quantidades pequenas, modificam as propriedades dele, com o objetivo de melhor se adequar a determinadas condições.

Na normativa NBR 11 768 (ABNT, 1992) os aditivos são classificados de acordo com as características que irão conferir ao concreto, sendo as principais delas: tipo P – Plastificante; tipo R – Retardador; tipo A – Acelerador; tipo PR – Plastificante Retardador; tipo PA – Plastificante Acelerador; tipo IAR – Incorporador de Ar; tipo SP – Superplastificante; tipo SPR – Superplastificante Retardador; e tipo SPA – Superplastificante Acelerador.

3.1.4 Cimento

Baseado na extensão geral do vocábulo, cimento pode ser todo material que possui propriedades coesivas, adesivas ou ambas, com a capacidade de unificar fragmentos e minerais, formando uma matéria compactada (DOS SANTOS, 2013).

O cimento do tipo *Portland* (CP) é composto por calcário, minério de ferro e argila que forma o clínquer. Após ser moído, é adicionado gesso para assim, promover a redução da velocidade de pega, ou seja, a velocidade de hidratação das partículas de cimento (LIMA, 2014).

De um modo geral, pode-se classificar o cimento de duas formas distintas, sendo eles, cimento hidráulico e cimento não hidráulico. O cimento hidráulico é caracterizado por só endurecer por meio da reação do mesmo com a água e por

formar um produto cujo a resistência a água seja elevada, após endurecido. Os cimentos não hidráulicos também denominados como aglomerantes aéreos, resultam da calcificação da gipsita ou carbonato de cálcio, e os produtos de hidratação, não possuem resistência à água (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

O cimento do tipo *Portland*, enquadrado como cimento hidráulico, adquire propriedades adesivas somente quando é misturado a água, processo denominado como hidratação que proporciona a ele características de pega e endurecimento (DOS SANTOS, 2013).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), o cimento *Portland* consiste em uma mistura heterogênea, formada por diversos compostos, que se comportam de forma diversas entre si quando submetidos à adição de água. Os silicatos se hidratam de forma lenta, já os aluminatos se hidratam aceleradamente.

As reações de hidratação envolvendo aluminatos são as responsáveis por determinar de forma ampla, as características de endurecimento (perda de consistência) e pega (solidificação da mistura) de uma pasta cimentícia (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

De um modo geral, o processo de fabricação do cimento envolve altas temperaturas para a formação do material desidratado, e logo, esse processo resulta em um material instável de alta capacidade energética. No momento em que é hidratado passa a se tornar um material mais estável e de baixa energia, ou seja, esse processo de hidratação promove a liberação de energia em forma de calor, classificada como reação exotérmica. Essa energia liberada nas reações de hidratação do cimento é calor hidratado, e pode ser considerado como prejudicial as estruturas de concreto, dependendo da situação em que os mesmos se encontram submetidos (NIEHUES, 2018).

Yazigi (2008) cita que as propriedades do cimento *Portland* são consideradas sob três aspectos distintos. A primeira é a propriedade do material em seu estado natural, o pó. A segunda é a propriedade da mistura de cimento e água em proporções adequadas a cada uso. E a terceira é a propriedade da mistura da pasta com o agregado.

Pode-se dizer ainda, que variando a composição do cimento é possível promover a obtenção de diversos tipos com diferentes características quanto ao tempo de pega, calor de hidratação, resistência mecânica, resistência a sulfato dentre outras características (RECENA, 2015).

3.2 Características do Concreto

3.2.1 Resistência

A seleção de um material para ser utilizado como elemento construtivo para uma determinada aplicação específica, leva em consideração sua capacidade em suportar a força aplicada e adaptar-se as condições específicas. A aplicação de determinadas cargas resulta em uma mudança significativa no comprimento em relação ao inicial, e essa mudança é definida como deformação. As tensões dentro de um mesmo corpo podem ser diferentes entre si, e isto acontece em decorrência do modo como a tensão atua no material. Tal distinção é classificada como tensão de compressão, de tração, de flexão, de cisalhamento e de torção, esta relação entre tensão e deformação, normalmente é expressa em termos de resistência, módulo de elasticidade, dificuldade e dureza (QUEIROZ et al., 2018).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014) a resistência pode ser conceituada como a medida limite de tensão necessária para que o material utilizado sofra rompimento. Em concreto, esta resistência é observada por meio da solidificação de seus aglomerantes, o cimento, e logo, é necessário que ele sofra hidratação. Como dito anteriormente, a hidratação do cimento ocorre lentamente e conseqüentemente, o concreto acaba tendo sua resistência variada durante toda a sua vida útil, sendo considerada mais acentuada, especialmente nos primeiros dias.

A resistência, característica da compressão está vinculada à durabilidade e para que o concreto atenda as mínimas condições de durabilidade, a resistência não deve ser inferior a 20 MPA, conforme recomenda a norma NBR 8.953 (ABNT, 1992) (QUEIROZ, 2018).

Nos constituintes sólidos, como é o caso do concreto, há uma relação inversa entre a resistência e a porosidade. Embora a relação água/cimento seja considerada indispensável pela determinação da porosidade do concreto, existem também fatores como adensamento e as condições de cura. A resistência à compressão é amplamente utilizada como um indicativo para as demais resistências, ou seja, ao longo dos anos, foram elaboradas relações empíricas úteis que relacionavam a resistência do concreto à compressão, com a resistência do concreto a outras tensões, conforme citado anteriormente (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

De um modo geral, pode-se dizer que o tipo de cimento utilizado na composição do concreto, não influencia significativamente na resistência dele, no entanto, esse último influenciará diretamente na velocidade do crescimento e na resistência.

Na resistência do concreto diversos fatores devem ser considerados, e esses por sua vez, podem influenciar tanto na mistura, ou seja, em sua fase não endurecida, como na cura, ou seja, na fase em que ele já se encontra endurecido, na medida em que cresce sua força (COUTO, 2013).

O concreto é um dos materiais empregados em estruturas prediais por possuírem uma boa resistência a compressão e recebe classificação de baixa a moderada (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Além disso, segundo os autores supracitados, o concreto é considerado também como um material sólido Hookeano, ou seja, está sujeito as Leis de Hooke. Logo, possui em sua deformação elasticidade, proporcionalidades entre tensão e deformação.

Acredita-se que as adições de fibra de polipropileno ao concreto podem fornecer, na quantidade adequada, o aumento das características de resistência, especialmente a flexão e a tração (DOS SANTOS, 2013).

3.3 Concreto Reciclado

Os agregados reciclados utilizados na construção civil são adquiridos por meio de elementos de concretos, argamassas, cerâmicas, entre outros. São feitos, em grande maioria das vezes, com resíduos britados, que fazem o lugar dos agregados convencional, integralmente ou limitados a uma porcentagem (ÂNGULO, 2011).

Em comparação do agregado miúdo natural ao reciclado, tem-se que o reciclado mostra inferior à massa específica que o natural, graças a sua elevada porosidade. Isso explica, a elevada absorção de água que o reciclado possui, chegando a aproximadamente 80% em referência ao natural (MEHTA e MONTEIRO 2008).

Existem várias características que o concreto reciclado possui como, por exemplo, as suas propriedades mecânicas, resistência à compressão, elasticidade, dentre outros.

A resistência à compressão do concreto reciclado é de grande valia no meio construtivo, tendo as suas próprias características como a condição de endurecimento que o concreto apresenta, com essa característica se tornam mais fácil a sua associação com as próprias propriedades que o concreto apresenta. (SANTANA, 2011).

Ainda de acordo com Santana (2011), é possível ver a diferença entre o concreto comum e o reciclado, e em que eles dois se diferem, o concreto comum é bastante resistente a compressão, toda via no concreto reciclado onde a sua resistência a compressão é menor, irá apresentar uma quebra nos seus agregados, e sendo assim usado como um determinador para essa propriedade nesse concreto.

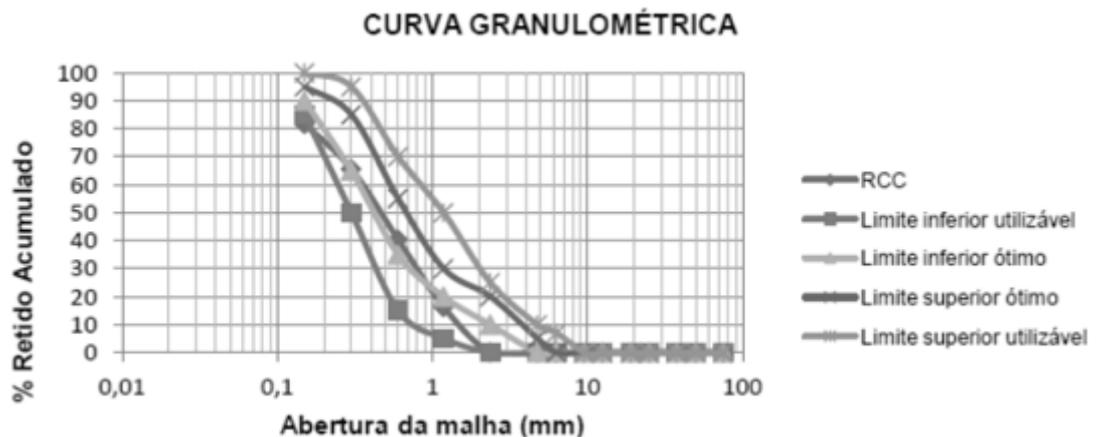
4 ANÁLISE DOS TRABALHOS

Os resultados obtidos na pesquisa de Barros (2016), Estolano (2018) e Frotté (2017), no que se refere à absorção de água, granulometria e resistência à compressão dos concretos reciclados, formam o corpo do levantamento feito com os marcadores nas plataformas de pesquisa mencionadas na metodologia.

4.1 Granulometria

Segundo Barros (2016), sua pesquisa utilizou resíduos de construção civil que continham materiais diversificados como tijolos cerâmicos, argamassas e concretos. Esses materiais foram triturados e peneirados para que houvesse um controle na granulometria e fosse possível a construção de uma curva granulométrica a ser comparada com os limites da distribuição granulométrica como está disposto na FIG. 1.

FIG. 1: Curvas Granulométricas do agregado miúdo reciclado (RCC) e os respectivos limites estabelecidos na NBR 7211(ABNT, 2009) aplicada a agregados para concreto.



Fonte: Barros (2016).

Após a comparação das curvas, percebeu-se que a granulometria do RCC estava entre os limites utilizáveis determinados pela norma referida, ultrapassando somente, um pouco o limite inferior utilizável.

O estudo de Estolano (2018) foi realizado a partir de resíduos derivados da fabricação de peças de concreto pré-fabricados. Essas peças eram reprovadas no

processo de qualidade e passaram por um processo de britagem para, logo após, ser realizado o ensaio de granulometria por peneiramento.

Os agregados reciclados utilizados pelo Estolano (2018), recebem nomes de acordo com a dimensão máxima característica (DMC), onde DMC igual a 4,8 foi tratado como AR 4,8 e o DMC igual 6,3 tratado como AR 6,3. Além disso, o material fino, com aspecto de pó, recebe o nome de areia fina reciclada (AFR), enquanto areia fina natural (AFN). As britas com naturalidade granítica, correspondente a 12,5mm (BN 12) e 19mm (BN 19). Os resultados estão expostos na FIG 2.

FIG 2: Resultados de ensaios de caracterização dos agregados

Componentes		Agregado natural			Agregado reciclado		
		AFN	BN 12	BN 19	AFR	AR 4,8	AR 6,3
Dimensão máxima característica		2,4	12,5	19,0	2,4	4,8	6,3
Modulo de Finura		1,99	6,24	8,27	1,84	4,12	4,66
Porcentagem retida acumulada (%)	19,00 mm	-	-	-	-	-	-
	12,5 mm	-	-	41,09	-	-	-
	9,5 mm	-	9,12	89,73	-	-	-
	6,3 mm	-	53,17	98,65	-	-	3,79
	4,8 mm	0,30	73,71	99,03	-	0,48	17,80
	2,4 mm	4,62	93,70	99,33	0,68	49,29	66,59
	1,2 mm	19,09	97,59	99,85	11,01	77,97	86,56
	600 µm	38,71	98,46	99,88	32,95	90,06	94,16
	300 µm	56,55	98,80	99,90	59,24	96,29	97,83
	150 µm	79,65	99,09	99,90	80,28	98,44	99,14

Fonte: Estolano (2018).

Um terceiro autor, Frotté (2017), fez a coleta de um material com a granulometria grossa, equivalente à uma bica corrida, com diferentes parâmetros de tamanhos, e contendo também alguns tipos de matérias infectante, entre plásticos, madeira, vidro e outros.

Frotté (2017) substituiu agregados reciclados no lugar do agregado convencional entre 25% e 50%. Posteriormente aos ensaios realizados detectou-se que o agregado miúdo é mais adequado para aplicação em concreto. Em

contrapartida, o agregado graúdo fará necessário alterar a sua granulometria e ser feito um novo ensaio, pois não atingiu nenhuma área granulométrica exigidas pela NBR 7211 (ABNT 2009).

4.2 Absorção de água

De acordo com Barros (2016), passadas 24 horas que o agregado miúdo reciclado estava em imersão na água, evidenciou uma elevada absorção de água próximo a 10%, em oposição ao convencional que se aproxima a 0,2%.

Já segundo Estolano (2018), após as mesmas 24 horas imerso na água o agregado reciclado apresentou uma absorção a água de aproximadamente 7,55% a 12,65%, enquanto o agregado convencional uma absorção aproximadamente a 0,53% a 1,12%.

No levantamento feito por Frotté (2017), concreto elaborado com os agregados reutilizados exibem uma considerável ausência de trabalhabilidade e acréscimo no consumo de cimento, em virtude da elevada absorção da água. Logo após 24 horas, o agregado miúdo obteve uma absorção equivalente a 12,35%.

4.3 Resistência à compressão

Com relação à Resistência e Compressão, de acordo com os estudos de Barros (2016), as dosagens dos concretos utilizados foram feitas substituindo 0%, 50% e 100% do agregado miúdo e o cimento usado foi o CII Z-32. O traço teste da pesquisa foi realizado na proporção de 1,0:2,0:3,3 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo), com 0,6 de relação água/cimento. Com esse exame foi possível observar a necessidade de um acréscimo de água passando a relação de água/cimento para 0,75. A modificação foi necessária pois o agregado miúdo reciclado absorve mais em relação ao agregado miúdo natural o que afeta diretamente na trabalhabilidade do concreto.

Ainda segundo Barros (2016), o traço teste foi indispensável para a descoberta de um traço trabalhável para alteração de 0%, 50% e 100% do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado seco ou pré-umedecido. Dessa maneira utilizou-se dois traços, pelo fato de que foi empregado RCC seco e pré-umedecido fazendo-se possível a avaliação do agregado reciclado mediante a

relação água/cimento com e sem absorção previa de água como está demonstrado na FIG. 3 com tabela extraída dos estudos do autor.

FIG 3: Traços Calculados para a Produção de Concretos

Traço em massa	Número	Traço 1	Traço 2
	1:m	1:5:3	1:3,8
	1:a:b	1:2,15:3,15	1:1,4:2,4
Teor de Argamassa		0,5	0,5
Relação a/c		0,6	0,6
Consumo de cimento (kg/m ³)		342	425
Relação água materiais secos (A%)		9,5	12,5

Fonte: Barros (2016).

Com base no teor de substituição e na execução dos traços, houve a nomeação das famílias de concreto conforme a FIG. 4 retiradas dos trabalhos do autor.

FIG. 4: Esquema da Produção de Concreto

Produção do Concreto			
Família	Substituição	Traço	Traços unitários em volume
CREs	0%	Traço 1	1,00:2,15:3,15:0,60
Ru50	50% RCC úmido	Traço 1	1,00:2,15:3,15:0,60
Rs50	50% RCC seco	Traço 2	1,00:1,40:2,40:0,60
Ru100	100% RCC úmido	Traço 1	1,00:2,15:3,15:0,60
Rs100	100% RCC seco	Traço 2	1,00:1,40:2,40:0,60

Fonte: Barros (2016).

De acordo com Barros (2016), foram moldados sessenta corpos de prova com dimensões de 10 x 20 cm, conforme pede a NBR 5738 (ABNT, 2008), doze para cada família, consistindo em 2 para o ensaio de resistência de compressão axial e 1 para ensaio de resistência a compressão a diametral, sendo rompidos com a idade de 3, 7, 14 e 28 dias.

Ainda segundo o autor quando analisado ao concreto sem a adição de água antecipada ao teste, ele apresentou melhoria na resistência, chegando ser maior que o convencional. Já o concreto que foi umedecido para o teste não obteve resultados bons, ficando assim abaixo ao concreto convencional. O que resultou essa perda de

resistência foi o acréscimo na relação água/cimento, conforme ilustrado na FIG 5 com a tabela elaborada por Barros (2016).

FIG. 5: Resultados de Resistência à compressão

Idade	Resistência à Compressão Simples (Mpa)				
	CREs	Ru50	Rs50	Ru100	Rs100
3 dias	10,0	7,4	9,1	6,0	12,8
7 dias	12,3	11,4	13,1	10,6	19,36
14 dias	16,4	14	16,9	12,4	21,0
28 dias	17,7	16,7	19,6	15,3	23,6

Fonte: Barros (2016)

Já na pesquisa de Estolano (2018) todos os traços de concreto utilizados para o teste de compressão foram utilizados o cimento CP-V ARI, e detectou-se que a relação de água/cimento (a/c) variou conforme a quantidade de agregado reciclado. A variação da relação a/c deveu-se a alta absorção de água do agregado reciclado o que atrapalha a trabalhabilidade do concreto.

Os concretos utilizados foram separados em dois grupos, o primeiro foi nomeado C1 onde foi usado um concreto mais fluido com o abatimento de 230 ± 20 mm, já o segundo grupo chamado de C2 o concreto possuía uma consistência seca. Para ser realizado a comparação de resultados foi confeccionado dois traços de concreto distintos, chamados de C1-ref e C2-ref, na FIG. 6 temos a tabela com as características e dosagem.

FIG. 6: Tabela com Informações dos concretos de referência originalmente utilizados pela indústria

Grupo do concreto	Traço unitário em massa (Cimento: AFN: B12:B19)	Consumo de cimento (kg/m^3)	Relação a/c	Consumo de aditivo (% massa de cimento)	Abatimento de tronco de cone (mm)	Resistência mínima aos 28 dias (Mpa)
C1-ref	1:1,99:0,59:1,09	485	0,36	0,6	230 ± 20	45
C2-ref	1:}2,8:2,54:0	367	0,397	0,4	0	35

Fonte: Estolano (2018)

Baseado nestes traços foram decididas as proporções de agregados reciclados que iriam substituir os agregados naturais, no grupo C1 foi substituído 30% (C1-30) e 50% (C1-50), já no grupo C2 a troca foi de 100% (C2-100), as composições de cada concreto está disposta na tabela de Estolano exposta na FIG. 7.

FIG. 7: Tabela com a Composição dos Concretos

Grupo do Concreto	Nomenclatura	Porcentagem em relação à massa total de agregado miúdo			Porcentagem em relação à massa total de agregado graúdo			Relação a/c	Abatimento (mm)
		AFN	AFR	AR4,8	BN12	BN19	AR6,3		
C1	C1-ref	100%	0%	0%	35%	65%	0%	0,360	240
C1	C1-30	70%	15%	15%	35%	65%	0%	0,362	230
C1	C1-50	50%	25%	25%	35%	65%	0%	0,367	220
C2	C2-ref	100%	0%	0%	100%	0%	0%	0,397	-
C2	C2-100	0%	100%	0%	0%	0%	100%	0,451	-

Fonte: Estolano (2018).

Então, em Estolano (2018), os ensaios foram realizados em corpos de prova (CPs) com dimensões de 10 x 20 cm moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2008), os CPs não foram rompidos com 28 dias, porém eles foram rompidos com 105 dias de cura.

Estolano (2018), verificou com os testes que o concreto com a maior média de resistência a compressão (RCS) foi o C1-30 e o que apresentou a menor média foi o C2-100, de acordo com a tabela elaborada pelo autor exposta na FIG. 8.

FIG. 8: Tabela com os Resultados de Resistência à Compressão Simples

Ensaio/ Concreto	Parâmetro	C1-ref	C1-30	C1-50	C2-ref	C2-100
Relação a/c		0,360	0,362	0,367	0,397	0,451
Abatimento (mm)		240	230	220	-	-
Resistência a Compressão Simples	Média	84,69	87,13	84,81	73,58	53,86
	Desvio Padrão	3,47	4,26	3,81	2,55	3,50
	Coef. De var. (%)	8,36	10,77	9,08	5,97	11,61

Fonte: Estolano (2018)

Em sua pesquisa Frotté (2017) utilizou, como agregado reciclado, resíduos de construção e demolição (RCD) passados por um triturador e separados granulometricamente pelo ensaio de peneiramento. O cimento utilizado para a confecção do concreto foi o CPV-ARI. Para realizar a comparação dos concretos foi feito três tipos. O primeiro foi referência e recebeu o nome de C_{ref} . No segundo foi feito uma substituição de 25% de agregado natural por agregado reciclado e foi chamado de C25%. Na terceira amostra foi substituído 50% do agregado natural por agregado reciclado e o nome dado foi C50%. O traço para a produção do concreto foi 1:2,9:2,81 com relação a/c de 0,645, cada traço teve uma trabalhabilidade distinta devido ao teor de agregado reciclado e sua maior absorção.

Para o ensaio de compressão foram utilizados corpos de provas com dimensões de 10 x20 cm com 7 e 28 dias de cura. No rompimento com 7 dias foram utilizados 4 CPs para cada tipo de concreto, a FIG. 9 traz a tabela com os resultados do rompimento.

FIG. 9: Tabela com a Resistência a compressão do concreto aos 7 dias

	Cref (Mpa)	C25% (Mpa)	C50% (Mpa)
Compressão betonada 1	22,00	17,40	22,20
	23,20	18,00	19,60
Compressão betonada 2	24,40	18,80	21,90
	23,40	17,80	21,80

Fonte: Frotté (2017)

Já no ensaio com 28 dias, foram usados seis corpos de prova e os resultados estão descritos na tabela do autor dos testes disponível na FIG. 10.

FIG. 10: Tabela com resultados da Resistência à Compressão do Concreto aos 28 dias

	Cref (Mpa)	C25% (Mpa)	C50% (Mpa)
Compressão betonada 1	24,70	22,50	26,80
	27,90	22,00	21,40
	27,60	20,80	24,00
Compressão betonada 2	34,00	23,60	23,80
	30,30	25,20	27,60
	28,30	20,20	27,20

Fonte: Frotté (2017).

5 RESULTADOS E DISCURSSÃO

Com a coleta e realização dos ensaios em que substituía o agregado natural para o agregado reciclado, pode-se obter os seguintes resultados:

- Quanto à granulometria, mediante os ensaios, os três autores encontram melhor êxito para a utilização do agregado miúdo para substituição total ou parcial em seus traços. O agregado graúdo pode ser substituído, todavia, precisa ser analisado suas funcionalidades e finalidade onde será enquadrada.

- Quanto a absorção de água, todos os autores apresentaram elevados teores de absorção para os agregados, isso está diretamente relacionado à porosidade dos agregados. Quanto mais vazios os agregados obtiverem, mais água tende a absorver, podendo comprometer a trabalhabilidade do concreto.

- Quanto a resistência, houve divergências entre os resultados apresentados pelos autores. Os resultados mostram que a resistência está relacionada ao traço do concreto e também ao percentual de substituição dos agregados naturais pelo reciclado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como abordagem dos resíduos de construção, este trabalho fez o recorte de uma revisão bibliográfica e análise de trabalhos que criaram parâmetros de comparação com o foco na busca de traço, granulometria e resistências à compressão, e ainda, condições ideais do agregado reciclado de resíduos de construção e demolição. Diante da urgência de sustentabilidade, o uso de agregados reciclados mostra-se uma alternativa interessante assim, esse estudo apresentou características relevantes inerentes aos agregados reciclados que devem ser avaliados para que sua utilização seja viável.

No que diz respeito aos agregados miúdos e graúdos, foram encontradas várias possibilidades entre naturais e reciclados, como também métodos diferentes de trabalho.

No tocante à granulometria dos agregados, nas pesquisas elencadas os resultados de resistência à compressão são aceitáveis.

E por fim, absorção de água encontrou-se dados satisfatórios, tendo que ser analisado separadamente de acordo com o concreto que for exigido.

Dessa forma, entende-se que o tema estudado cabe ainda mais reflexão e pesquisas em campo com delimitação científica e metodologia que possa comprovar que é possível utilizar resíduos na mistura que forma o concreto sem prejuízo de suas características.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRECON. **Brasileiro produz por ano meia tonelada de resíduos de construção civil**. Brasil Atual, 2013.
- ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, AD de. Concreto com agregados reciclados. **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1, p. 1731-1767, 2011.
- BARROS, Emilia; FUCALE, Stela. **O Uso de Resíduos da Construção Civil como agregados na Produção de Concreto**. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, n. 1, 2016.
- Brasileiro, L. L. e Matos, J. M. E.. Revisão bibliográfica: **reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica [online]. 2015, v. 61, n. 358 [Acessado 12 Dezembro 2022], pp. 178-189.
- CARDOSO, L. M. **Tudo sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. 2017.
- COUTO, José Antônio Santos et al. **O concreto como material de construção**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, v. 1, n. 3, p. 49-58, 2013.
- DE MOURA, João Marcos Bosi Mendonça; PINHEIRO, Ivone Gohr; ROHDEN, Abrahão Bernardo. **Concreto Permeável com Incorporação de Resíduos: uma revisão**. Revista de Estudos Ambientais, v. 22, n. 1, p. 52-67, 2020.
- DOS SANTOS, White José; BRANCO, Luiz Antônio Melgaço Nunes; ALVES, Pedro Pires. **Utilização de elementos pré-moldados de concreto na construção civil- estudo de caso em uma obra industrial na região metropolitana de Bbelo Hhorizonte**. Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis, v. 8, n. 1, p. 59-74, 2013.
- ESTOLANO, Victor *et al.* **Avaliação dos módulos de elasticidade estático e dinâmico de concretos produzidos com agregados reciclados oriundos de resíduos de pré-fabricados de concreto**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, 2018.
- FROTTÉ, Camila et al. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, 2017.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
- LIMA, Antônia Aryane Galvão. **Avaliação dos processos de recebimento e armazenamento dos materiais constituintes do concreto armado: um estudo de caso na cidade de Ipueiras-CE**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/64134>. Acesso em: 22 out 2022.
- MEHTA, Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 1. Ed. São Paulo: Ibracon, 2014.
- NIEHUES, Ana Paula Gava. **Estabilização granulométrica de solo argiloso com agregado de resíduo de concreto da construção civil para utilização em**

pavimentação. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil. 2018.

PMSB-PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO MUNICÍPIO DE BAURU/SP, objeto do Contrato No35/2016 firmado entre o DAE-Departamento de Água e Esgoto do Município de Bauru/SP e a Empresa AMPLA Consultoria e Planejamento Ltda. EPP. 2020.

QUEIROZ, Iago Camargos Cunha. **Análise das propriedades do concreto com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha de pneus para aplicação em paredes de concreto.** 2018. 71 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21914> Acesso em 12 out de 2022.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portlan.** 1. ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2015.

RRUDA, P. T. M. **Responsabilidade Civil decorrente da poluição por Resíduos Sólidos Domésticos.** São Paulo: Ed. Método, 2015.

SANTANA, Valquiria Melo de et al. Utilização de concreto reciclado na aplicação de elementos estruturais. **Anais do XV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação**, p. 1-6, 2011.

SIMONI, J. H.; ALENCAR, J. L. S.; FIORELLI, M. N.; ANGELIS NETO, G. **Gerenciamento de resíduos da construção civil: estudo de caso em usina de reciclagem em Maringá – PR.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, 19(2), 568-574, 2015.

VAHAN, A. **O desafio da Sustentabilidade na Construção Civil.** Vol. 5. São Paulo: Blucher, 2013.

YAZIGI, Walid. **A técnica de Edificar.** 9. ed. São Paulo: Pini: SINDUSCON, 2008.22