



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO NÃO ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR AGREGADO GRAÚDO RECICLADO

ROCHA, Renata Fabris¹
PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento.²

RESUMO: Devido à grande geração de resíduos gerados pela construção civil, é primordial buscar soluções adequadas para tais resíduos e o seu reaproveitamento, desde que se torne viável tanto ambientalmente, como economicamente. O uso desses resíduos de volta a construção civil vem a ser uma solução muito boa para o reaproveitamento e ainda pouco utilizado pela indústria brasileira. Desta forma, esse estudo buscou analisar o comportamento do concreto não estrutural com a composição de agregado reciclado, com traços nas proporções de 30, 70 e 100% de agregado graúdo reciclado e um traço referência com agregado graúdo natural para comparação e análise dos dados. O agregado reciclado que foi utilizado nesse trabalho foi o tipo III que é constituído pela mistura de agregados naturais e reciclados. Os testes realizados para essa análise foram: ensaio de abatimento de tronco de cone; ensaio de compressão simples; ensaio de tração por compressão diametral e ensaio de absorção de água por imersão, todos após o período de cura de 28 dias. Os testes foram realizados em corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm e os dados foram analisados por meio de gráficos. Com base nos resultados obtidos, observou-se que quando comparados os traços com agregado reciclado com o traço referência, o traço com substituição de 30% foi o que obteve valores mais próximos ao de referência em todos os ensaios, enquanto o traço com 100% de agregado reciclado teve uma redução de cerca de 25% de sua resistência e um aumento de absorção de água de 35% em relação ao traço referência, com isso, o uso do agregado graúdo reciclado é viável, desde que em proporções associadas com o agregado graúdo natural.

Palavras-chave: concreto, reciclagem, agregado reciclado, resistência mecânica.

¹Discente do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.
E-mail: renata_fabris02@hotmail.com.

²Docente, Mestre em Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR.



1. INTRODUÇÃO

A indústria da Construção Civil no cenário atual é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, mas por outro lado, ainda é grande geradora de impactos ambientais. Estima-se que 50% dos recursos naturais extraídos estão relacionados à atividade de construção. É ainda, a responsável por aproximadamente 15% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, com investimentos que ultrapassam R\$ 90 milhões por ano, geração de 62 empregos indiretos para cada 100 empregos diretos, contribuindo para a redução do déficit habitacional e da infraestrutura, indispensável ao progresso (LEITE e MATOS, 2015).

Na área da construção civil há um grande consumo de materiais retirados da natureza para a construção de edifícios e demais obras, gerando um impacto ambiental. Devido a esses impactos houve o surgimento de novas tecnologias permitindo a construção civil de criar e realizar projetos que visam à sustentabilidade (BRAVO, 2014).

O ambiente da construção civil, principalmente no Brasil, está relacionado ao desperdício de materiais, muitas vezes devido à falta de medidas de reaproveitamento de resíduos. Estudos demonstram que 40% a 70% da massa dos resíduos urbanos são gerados em canteiros de obras. O custo e a falta de locais adequados para descarte desses materiais são fatores que deveriam despertar interesse nas empresas em promover e patrocinar pesquisas em reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (PINTO, 1999; BLUMENSCHNEIN, 2007).

Gonçalves (2001), diz que os resíduos na construção civil não são gerados somente por novas obras, mas também por demolições de estruturas que em alguns casos geram uma quantidade enorme de resíduos. No Brasil por exemplo, algumas estradas estão sendo construídas com pavimentos rígidos de concreto, que possuem uma vida útil, após este período é necessário que este material seja substituído por um novo, este processo gera uma quantidade grande de resíduos de concreto.

Com tais informações, a justificativa para a realização dessa pesquisa foi buscar soluções para minimizar o impacto ambiental que os resíduos provenientes da construção civil geram, buscando uma forma sustentável de reaproveitamento de parte dos resíduos sólidos, sendo que esse material reaproveitado esteja dentro dos parâmetros especificados em normas



para sua utilização, e assim, esse reaproveitamento se torne viável tanto ambientalmente, como economicamente.

A má gestão e a destinação incorreta dos resíduos da construção civil são preocupantes, pois se tornam um problema de logística para a destinação correta desses resíduos, que geram transtornos para a sociedade como um todo e que vem preocupando a população. A conscientização do povo de que esses resíduos possam ser reutilizados é de extrema importância também, já que falta informação e em virtude da cultura que isso é lixo, esses materiais são muitas vezes descartados de forma inadequada e que não haverá reaproveitamento (LEITE e MATOS, 2015).

Neste contexto, visando o cenário atual, a relevância de pensar no futuro e na gestão de nosso planeta, é necessário que tomemos medidas para gerir, reaproveitar e até mesmo descartar de forma correta. Essas medidas vêm sendo cada vez mais crescente em outros países e até mesmo no Brasil. Assim, essa pesquisa buscou a possibilidade de conhecimento tecnológico para a reutilização desses resíduos na construção civil.

Com essa análise, a pergunta a ser respondida nessa pesquisa é a seguinte: O concreto não estrutural com a substituição total e parcial do agregado gráúdo natural por agregado gráúdo reciclado mantém as mesmas características mecânicas?

Esse estudo se limitou a analisar as propriedades do concreto não estrutural com a composição do agregado gráúdo reciclado, para verificar qual teria melhor desempenho, quando comparado ao concreto não estrutural com agregado gráúdo natural, e assim, verificar a viabilidade do uso desses agregados gráúdos reciclados. Essa análise foi feita por meio de gráficos, comparando os resultados dos testes realizados em laboratório.

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho teve como objetivo geral analisar o comportamento do concreto com a substituição total e parcial do agregado gráúdo natural por agregado gráúdo reciclado no concreto não estrutural, em proporções de substituição de 30, 70 e 100%.

Portanto, para que este trabalho esteja completo, os objetivos específicos propostos foram:

a) Determinar a influência do agregado reciclado na trabalhabilidade do concreto no estado fresco por meio do *slump test*;



- b) Analisar a resistência do concreto com a substituição do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado de acordo com os ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral;
- c) Avaliar a absorção de água do concreto com a substituição total e parcial do agregado graúdo natural por agregado graúdo reciclado no concreto não estrutural;
- d) Determinar o teor ideal de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Resíduos da construção

Um dos maiores causadores de impactos ambientais são os resíduos sólidos oriundos da construção civil. Esses resíduos são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002).

Para Castro (2012), existem várias razões para geração de resíduos, sendo principalmente, as falhas de projeto, projetos que não estão compatíveis, falta de procedimentos padronizados de serviços e o armazenamento e transporte inapropriado de materiais no canteiro. Karpinsk *et al.* (2009), comentam que na maioria das reformas, em função da falta de conhecimento para reutilização desses resíduos, desperdiça-se o grande potencial de um resíduo reciclado ser utilizado como material de construção.

De acordo com Carneiro (2001), a reutilização do resíduo tem representado vantagens econômicas para os municípios, como por exemplo, redução dos custos com a remoção do material depositado clandestinamente ao longo das vias públicas, terrenos baldios, cursos d'água e encostas, aumento da vida útil dos aterros sanitários, diminuição nos custos de pavimentação, infraestrutura urbana e construção de habitações populares, geração de emprego e renda e criação de novas oportunidades de negócios.



Silva (2007), comenta que esses resíduos sempre existirão, e desta forma, já existem políticas públicas voltadas para a disposição controlada desses resíduos. Os resíduos devem ser dispostos em aterros, e isso tem significado um custo elevado em função de sua localização e distância em relação aos grandes centros.

Com o crescimento desenfreado da construção civil, alguns fatores se tornaram problemas para a logística do setor, um deles foi e ainda é a grande produção de resíduos provenientes dessas construções. Desperdiçar os resíduos gerados pela construção civil significa desperdiçar recursos naturais, colocando-a assim, no centro das discussões que buscam a sustentabilidade na sua atuação (HENZ, 2017).

2.2 Legislação vigente para resíduos de construção

Os resíduos sólidos urbanos são classificados em 4 classes segundo a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;

Classe D: são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Os resíduos da construção civil classe A deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

O CONAMA (2002), ainda especifica que o gerenciamento desses resíduos é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

A Resolução nº 307 (2002), considera que é instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que deve ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, o qual deverá incorporar um programa municipal de gerenciamento de resíduos da construção civil e também projetos de gerenciamento de resíduos da construção civil.

A Lei Federal nº 12.305 de 2010, diz que estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que gerem resíduos perigosos, que gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal, no caso, as empresas de construção civil.

Para Schalch e Córdoba (2009), é notória a preocupação com a administração e destinação final dos resíduos oriundos da construção civil, no entanto, o ideal seria a redução dos RCC na fonte geradora. O setor da construção civil, embora utilize grandes quantidades de recursos naturais não renováveis, possui amplo potencial para reutilizar os resíduos gerados nos canteiros de obras, por meio da incorporação dos rejeitos na confecção de novos materiais construtivos (SANTOS *et al.*, 2011).

2.3 Caracterização dos agregados reciclados

Os resíduos apresentam uma vasta diversidade e complexidade, sendo que suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com a fonte ou atividade geradora (NBR 10004, ABNT 2004).



O agregado reciclado é um material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção, que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia (CONAMA, 2002).

O resíduo se apresenta na forma sólida, com características físicas diversificadas, pois dependem do seu processo gerador, os quais podem apresentar dimensões e geometrias já conhecidas, quando comparados aos materiais de construção, além de formatos e dimensões irregulares. Salienta-se ainda, a importância de classificar ou conhecer a fonte geradora desse entulho, ou seja, se é um resíduo de construção, reforma, demolição ou desastres naturais, bem como, identificar o porte da obra sem deixar de mencionar a tipologia da construção (SILVA, 2014).

Segundo Levy (1997), produzir agregados reciclados graduados e limpos, não será suficiente para garantir a qualidade do processo de reciclagem. O material deverá ser adequado à finalidade específica para a qual se destina, sua granulometria deverá enquadrar-se dentro de determinados limites e só poderá conter níveis mínimos toleráveis de contaminação, para que desta forma, o concreto produzido possa ser durável e haja garantia da estabilidade das estruturas construídas.

Bazuco (1999), diz que se deve atentar para o fato de que o material residual da construção civil é, na grande maioria dos casos, um material muito heterogêneo e que o comportamento apresentado pelos concretos de agregados reciclados é bastante distinto em função da origem do agregado reciclado utilizado. Por esse motivo faz-se necessário caracterizar bem os materiais recicláveis da construção civil.

A composição do resíduo de construção varia em função da região, da época do ano, do tipo de obra, dentre outros fatores. Estima-se que no Brasil, em média, 65% do material descartado é de origem mineral, 13% madeira, 8% plásticos e 14% estão relacionados a outros materiais, sendo as construtoras responsáveis pela geração de 20 a 25% desse entulho e o restante proveniente de reformas e de obras de autoconstrução (LEAL, 2001).

Para Sienge (2017), a composição dos resíduos sólidos da construção civil se resume a materiais cerâmicos, argamassa e seus componentes, que representam em média 90% de todos os resíduos gerados em obra.

O comitê técnico da Rilem TC 121-DRG (1994), apresenta, as seguintes especificações para classificação e utilização de agregados reciclados:



Tipo I - Agregados oriundos de material constituído predominantemente por entulho de alvenaria.

Tipo II - Agregados oriundos de material constituído predominantemente por entulho de concreto.

Tipo III- Agregados constituídos por mistura de agregados naturais e agregados reciclados.

Uma das grandes dificuldades encontradas para a produção de agregados reciclados de concreto é a seleção e a caracterização das propriedades destes materiais. O concreto demolido pode estar misturado com solo ou outros resíduos de materiais de construção, ou ainda pode conter impurezas (BAZUCO, 1999).

2.4 Propriedades do concreto com agregado reciclado

Segundo Bazuco (1999), o desempenho de um concreto está diretamente relacionado ao desempenho dos materiais utilizados para a sua produção. Os agregados, como parte fundamental das misturas, possuem influência determinante nas propriedades finais dos concretos. Portanto, parece razoável que as propriedades finais dos concretos se modifiquem quando se substituem os agregados naturais por reciclados.

O mesmo ainda diz que a resistência à compressão é uma das mais importantes propriedades de um concreto, pois dela depende a sustentação das estruturas. Assim sendo, todas as decisões de utilização de um concreto passam por uma análise criteriosa dessa propriedade. Essa resistência depende diretamente da resistência e do desempenho dos agregados no concreto, por isso, não é de se estranhar que as resistências dos concretos com agregados reciclados sejam menores que as resistências de concretos de referência, com traços semelhantes, preparados exclusivamente com agregados naturais.

Hansen (1992), reporta valores de retração por secagem e fluência de cerca de 40% a 80% maiores para os concretos de agregados reciclados. Esses valores, porém, são maiores quando se utilizam agregados reciclados miúdos e tendem a ser menores para concretos reciclados com agregados miúdos naturais e apenas grãos reciclados. A magnitude desses aumentos pode depender ainda das propriedades do concreto original, do agregado reciclado e do concreto de agregados reciclados.



Considerando-se que a durabilidade de uma estrutura é preponderantemente determinada pela sua capacidade de dificultar a penetração do CO₂, assim como, a de outros agentes agressivos por meio da absorção de água de intempéries, pode-se afirmar que concretos produzidos com agregados reciclados de alvenaria miúdo ou reciclados de concreto graúdos, na proporção de 50%-50% em massa, seriam mais duráveis que o concreto de referência (LEVY, 2001).

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada nesta pesquisa foi baseada nas recomendações das Normas Brasileiras.

A pesquisa consistiu na caracterização dos materiais, especificamente a dos resíduos de construção, de forma que mantenham características semelhantes à dos agregados naturais, definição do traço de referência e produção dos concretos, além disso, foram realizados os ensaios nas amostras para os concretos no estado fresco e endurecido.

3.1 Materiais Utilizados

3.1.1 Cimento

Para este estudo foi utilizado o CP II – Z – 32, Cimento Portland tipo II composto com material pozzolânico e classe de resistência igual a 32, com densidade igual a 2,96 g/cm³. Sua composição segundo a NBR 11578 (ABNT, 1997) é 71 a 94% de clínquer e sulfatos de cálcio, 6 a 14 % material pozzolânico e 0 a 15 % de material carbonático.

3.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado para os ensaios foi a areia média obtida em empresas de Cascavel-PR. O agregado miúdo é resultado da fragmentação de rochas, composta principalmente por quartzo. Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), a areia deve ser composta por grânulos pequenos que passam por peneiras de abertura de malha de no máximo 4,75mm.



Para a caracterização do material foram realizados ensaios de granulometria seguindo as recomendações da NBR NM 248 (ABNT, 2003) e a massa específica conforme as prescrições da NBR NM 52 (ABNT, 2009).

3.1.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi a brita 1, a qual também foi obtida em empresas na cidade de Cascavel-PR. A NBR 7211 (ABNT, 2009), descreve agregado graúdo cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio de peneiramento de acordo com a ABNT.

Assim como para o agregado miúdo, também foi necessária a realização de alguns ensaios, tais como: granulometria (NBR NM 248, ABNT 2003) e massa específica (NBR NM 53, ABNT 2003), para conferir a qualidade do material e se atende às especificações das normas.

3.1.4 Agregado graúdo reciclado

O agregado graúdo utilizado foi do tipo III - Agregados constituídos por mistura de agregados naturais e agregados reciclados de concreto e alvenaria, fornecidos por uma empresa especializada em reciclagem de resíduos, localizada no município de Cascavel, PR.

Para o agregado graúdo reciclado ainda não há normas brasileiras vigentes para ensaios específicos, sendo assim, foram realizados os mesmos ensaios que foram feitos para o agregado graúdo natural, visando que o mesmo será substituído por agregado graúdo reciclado.

3.2 Traço utilizado

O traço utilizado foi semelhante ao traço empregado por Peres (2013). Este traço, em massa, para o concreto com agregados naturais possui a composição de 1:2, 5:3,5 (cimento, agregado miúdo: agregado graúdo) e relação água/aglomerante de 0,52.



Foram definidas quatro dosagens, sendo que três delas considera agregados graúdos reciclados nas proporções de 30, 70 e 100% e a quarta com agregado graúdo natural para comparação e análise dos dados.

O Quadro 1 apresenta o proporcionalmento dos materiais em kg/m^3 para os concretos analisados.

Quadro 1: Consumo de materiais (kg/m^3).

Cimento	315,34
Areia	788,35
Brita	1103,7
Água	163,98
30% resíduo	331,11
70% resíduo	772,59
100% resíduo	1103,7

Fonte: Autora (2020).

3.3 Produção dos concretos

Para a realização dos ensaios foram moldados 15 corpos de prova para cada traço, totalizando 60 corpos de provas, sendo 20 para o ensaio de compressão axial, 20 para o ensaio de tração por compressão diametral e 20 para o ensaio de absorção de água por imersão, que foram moldados de acordo com a norma para moldagem e cura de corpos de prova que é a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Após o preparo do concreto, para cada traço foi feito o ensaio de abatimento do cone de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998) para determinar a consistência do concreto.

O ensaio de abatimento inicia-se umedecendo o cone e a placa base, colocar o cone sobre a base (com a base maior para baixo). Durante o preenchimento do molde com o concreto de ensaio, o operador deve se posicionar com os pés sobre suas aletas, de forma a mantê-lo estável. Encher rapidamente o molde com o concreto coletado em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado. Compactar cada camada com 25 golpes da haste de socamento. Distribuir uniformemente os golpes sobre a seção de cada camada (Figura 1).

Após a última camada preenchida, arrasar a superfície do concreto com uma desempenadeira e com movimentos rolantes da haste de compactação. Retirar o molde de 5s a 10s, com um movimento constante para cima, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral. Imediatamente após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado, aproximando aos 5 mm mais próximos.

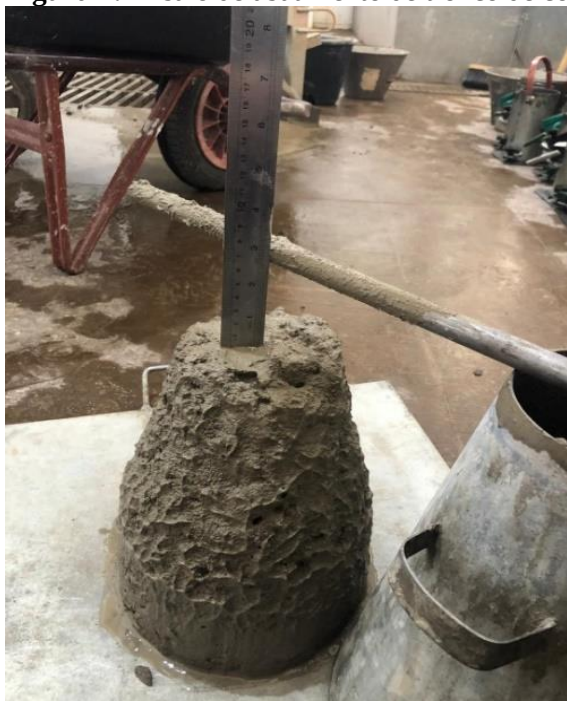
Os corpos de prova que foram utilizados, possuem diâmetro igual a 10 cm e altura de 20 cm. Para a moldagem deve-se introduzir o concreto no molde em duas camadas de volume aproximadamente igual e adensar cada camada utilizando a haste, que deve penetrar no concreto com seu extremo em forma de semiesfera, doze golpes por camada. A primeira camada deve ser atravessada em toda a sua espessura quando adensada com a haste, evitando-se golpear a base do molde. Os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde. Cada uma das camadas seguintes também deve ser adensada em toda sua espessura, fazendo com que a haste penetre aproximadamente 20 mm na camada anterior.

A última camada deve ser moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que, ao ser adensada, complete todo o volume do molde e seja possível proceder ao seu arrasamento, eliminando o material em excesso, empregando para isso uma régua metálica ou uma colher de pedreiro adequada. Em nenhum caso é aceito completar o volume do molde com concreto após o adensamento da última camada.

Após a moldagem, foram colocados os moldes sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra ação que possa perturbar o concreto. Durante as primeiras 24 h devem ser armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto, devem ser desmoldados após o período de cura inicial e serem identificados (Figura 2).

Imediatamente após sua identificação, os corpos de prova foram em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 % e retirado somente para os ensaios que foram realizados aos 28 dias.

Figura 1: Ensaio de abatimento de tronco de cone.



Fonte: Autora (2020).

Figura 2: Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autora (2020).

3.4 Ensaio

3.4.1 Compressão Axial

Estruturas de concreto estão submetidas a forças axiais que promovem a compressão da mesma e por isso é de extrema importância verificar sua resistência para tais esforços. A norma vigente que descreve esse ensaio é a NBR 5739 (ABNT, 2018).

Para esse ensaio, foram realizados 5 corpos de prova para cada traço, totalizando 20 corpos de prova, que foram rompidos após o período de cura de 28 dias.

Os pratos da prensa devem estar limpos e secos para o ensaio, então o corpo de prova deve ser cuidadosamente centralizado no prato inferior da prensa hidráulica, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência. O carregamento de ensaio deve ser aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, essa velocidade deve ser mantida constante durante todo o ensaio e só deve parar quando o corpo de prova se romper (Figura 3).

A resistência à compressão é dada pela Equação 1.

$$f_c = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão (MPa);

F é a força máxima alcançada (N);

D é o diâmetro do corpo de prova (mm).

Figura 3: Corpo de prova na prensa hidráulica para ensaio de compressão axial.



Fonte: Autora (2020).

3.4.2 Tração por compressão diametral

Para o ensaio foi utilizada a NBR 7222 (ABNT, 2011), foram rompidos 5 corpos de prova para cada traço, totalizando 20 corpos de provas, que foram rompidos após o período de cura de 28 dias.

O corpo de prova deve ser posicionado ao longo de uma geratriz sobre o prato da prensa (deitado), entre duas pequenas chapas de metal entre os pratos. A carga deve ser aplicada continuamente e sem choques, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s até a ruptura do corpo de prova (Figura 4).

O resultado esperado para o ensaio é cerca de 10% do valor obtido no ensaio de compressão simples. A resistência à tração por compressão diametral deve ser calculada pela Equação 2.

$$f_{ct, sp} = \frac{2 \times F}{\pi \times d \times l} \quad (2)$$

Onde:

$f_{ct, sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F é a força máxima obtida no ensaio (N);

d é o diâmetro do corpo de prova (mm);

l é o comprimento do corpo de prova (mm).

Figura 4: Corpo de prova na prensa hidráulica para ensaio tração por compressão diametral.



Fonte: Autora (2020).

3.4.3 Absorção de água por imersão

Para o ensaio de absorção de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009), foram utilizados 5 corpos de prova para cada traço, totalizando 20 corpos de prova para o ensaio. Após a cura de 28 dias na câmara úmida, os corpos de prova foram secados em estufa à temperatura de 110°C por 72 horas, logo, foram resfriados em temperatura ambiente e registrada a massa dos cilindros (Figura 5).

Procedeu-se à imersão dos corpos de prova em água à temperatura de 23°C, durante 72 horas. Completada a etapa de saturação em água, foram retirados os corpos de prova da água, enxugando-os com um pano seco e realizando a pesagem novamente. Usando as massas determinadas pelo ensaio de absorção, resolve-se a Equação 3.

$$A = \frac{Msat - Ms}{Ms} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A: Absorção (%);

Msat: Massa do corpo de prova saturado (g);

Ms: Massa do corpo de prova seco em estufa (g).

Figura 5: Corpos de provas na estufa para secagem.



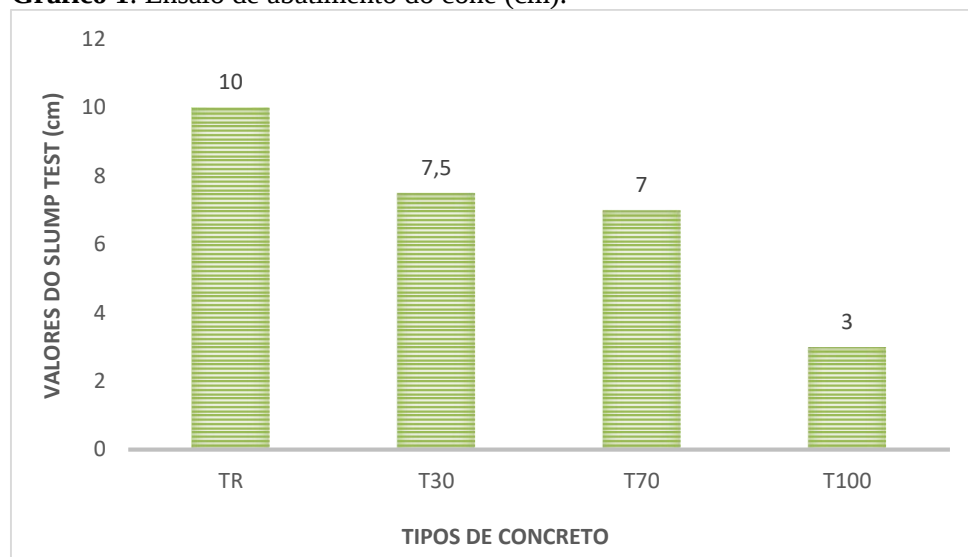
Fonte: Autora (2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta dos dados, os resultados foram analisados por meio de gráficos. Foi feita uma média com os valores obtidos nos ensaios e comparado os resultados dos desempenhos dos traços com substituições T30, T70 e T100 de agregado graúdo reciclado com o traço referência (TR) para melhor compreensão dos resultados.

O Gráfico 1 mostra os dados do ensaio de abatimento do cone que foi feito nos quatro traços para verificar consistência e a fluidez do material.

Gráfico 1: Ensaio de abatimento do cone (cm).

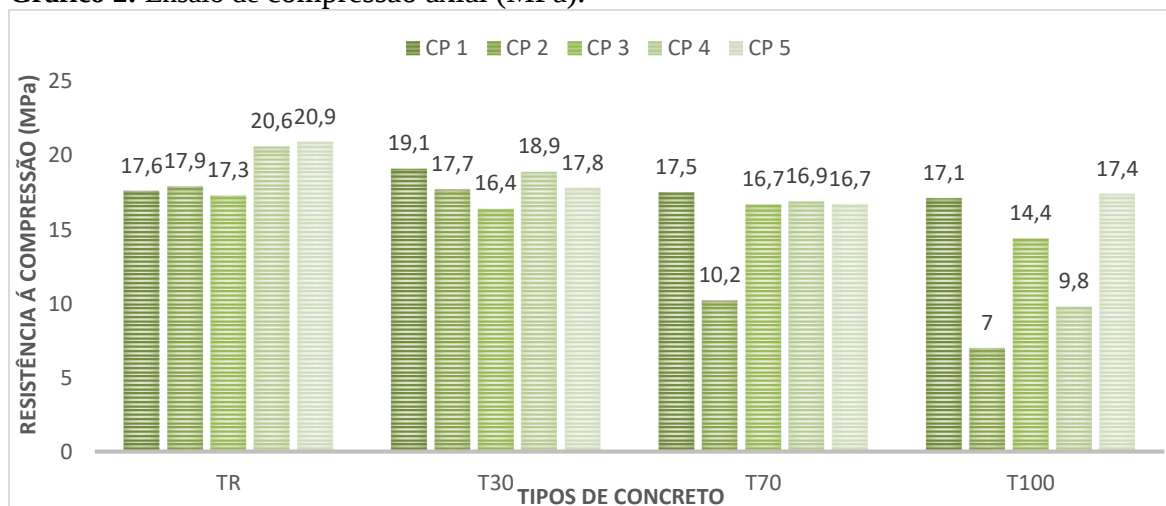


Fonte: Autora (2020).

Esse ensaio mostrou que quando comparado ao TR, o T30 apresenta uma redução de 25%, o T70 apresenta uma redução de 30% e o T100 apresenta uma redução de 70% da sua consistência e fluidez. Isso se deve ao fato de que o agregado reciclado por ter em sua composição uma mistura de agregados naturais e agregados reciclados, além de possuir resíduos de alvenaria, torna o material mais absorvente. Considerando que o teor de água/aglomerante foi o mesmo para os quatro traços, notou-se que conforme aumentou-se o teor de agregado reciclado diminuiu-se a trabalhabilidade do concreto devido a essa absorção.

O Gráfico 2 mostra os dados do ensaio de compressão axial descrito anteriormente.

Gráfico 2: Ensaio de compressão axial (MPa).

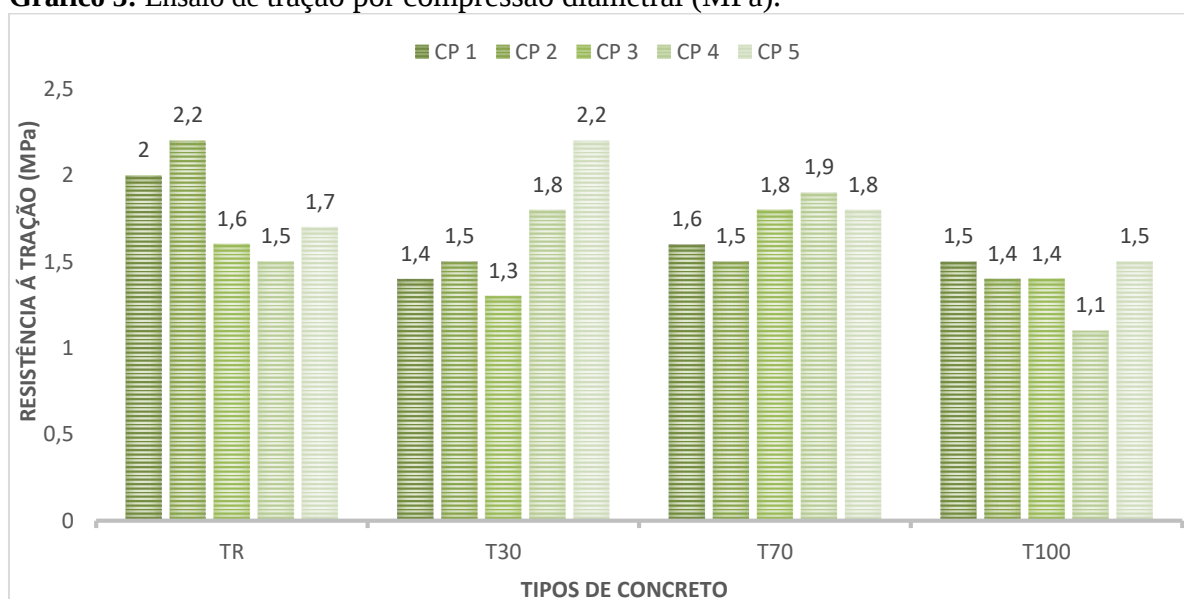


Fonte: Autora (2020).

Com esse ensaio foi observado que, quando comparado ao TR (traço referência) o T30 teve uma redução bem pequena, de apenas 4,67%, o T70 reduziu 17,28% e o T100 teve uma redução de 30,32% no valor médio de sua resistência a compressão axial. Vieira (2003), observa em sua pesquisa que a resistência à compressão passa a diminuir consideravelmente quando há uma substituição a partir de 50% dos agregados naturais pelos agregados graúdos reciclados.

Gráfico 3 que mostra os dados do ensaio de tração por compressão diametral.

Gráfico 3: Ensaio de tração por compressão diametral (MPa).



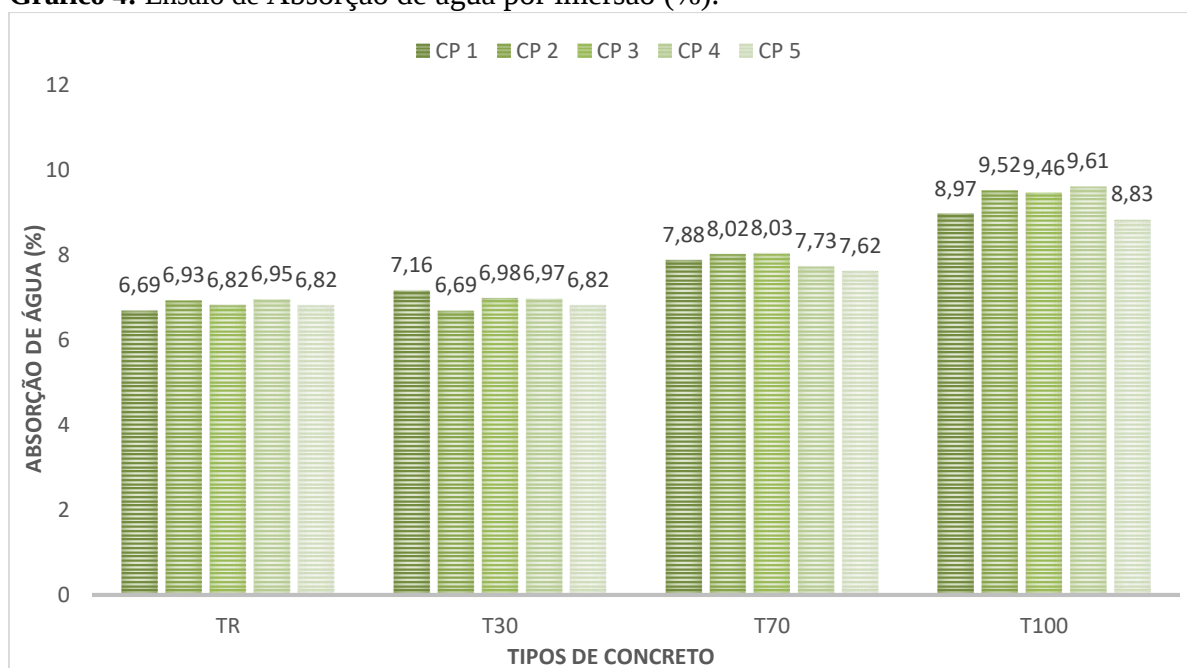
Fonte: Autora (2020).

Observa-se que quando comparado ao TR (traço referência) o T70 teve a menor redução média, reduziu apenas 4,44%, o T30 teve uma redução de 8,89% e o T100 teve uma redução maior, valores consideravelmente mais baixos, sua redução foi de 23,33% da sua resistência a tração.

Segundo a NBR 7222 (ABNT, 2011) o resultado esperado para o ensaio é cerca de 10% do valor obtido no ensaio de compressão simples. O resultado do ensaio foi satisfatório já que o traço TR apresentou exatamente 10% do valor de resistência do ensaio de compressão, o traço T30 apresentou 9,12%, o traço T70 apresentou 11,02% e o traço T100 apresentou 10,50%.

O Gráfico 4 mostra o ensaio de absorção de água por imersão.

Gráfico 4: Ensaio de Absorção de água por imersão (%).



Fonte: Autora (2020).

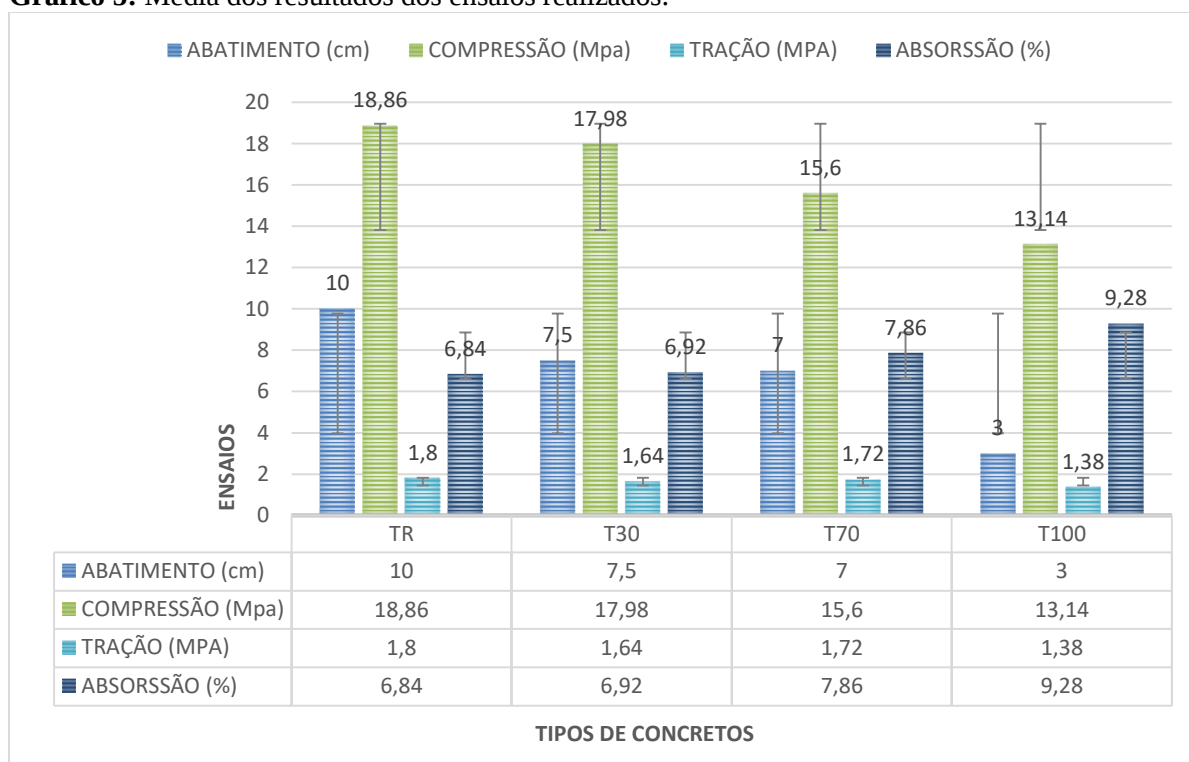
Com esse ensaio ficou notório, pelo gráfico, que à medida que se aumenta a porcentagem de agregados reciclados aumenta também a sua absorção. Comparando-se os valores com o TR (traço referência), o T30 obteve um aumento pequeno, de 1,17% somente, o T70 aumentou 14,94% e o T100 aumentou 35,67% de sua absorção em relação ao TR.

Vieira (2003) diz que o fator água/cimento é o fator mais importante, ele afeta a porosidade da matriz e quanto menor esse fator maior a resistência a compressão. Seu estudo mostra que em concretos com agregado graúdo reciclado em sua composição, o mesmo absorve

grande parte da água do traço, devido a sua porosidade, dificulta a trabalhabilidade do concreto e aumentando a absorção da água.

O Gráfico 5 mostra uma média dos valores dos ensaios para melhor visualização e análise dos resultados obtidos.

Gráfico 5: Média dos resultados dos ensaios realizados.



Fonte: Autora (2020).

Nota-se que em relação ao TR (traço referência), na seguinte ordem de ensaios: abatimento, compressão, tração e absorção. O T30 reduziu respectivamente 25%, 4,67%, 8,89% e aumentou 1,17%, o T70 reduziu respectivamente 30%, 17,28%, 4,44% e aumentou 14,94% e o T100 reduziu respectivamente 70%, 30,32%, 23,33% e aumentou 35,67%.

Hansen (1992) diz que o efeito negativo do percentual de agregados graúdos reciclados no concreto, pode ser minimizado se for utilizado em relações água/cimento maiores, pois apesar de possuir alta taxa de absorção, a resistência a compressão não fica limitada a resistência do agregado, mas sim pela resistência da pasta de cimento endurecida.

5. CONCLUSÕES

Por meio dos ensaios feitos em laboratório e a análise dos dados, pode-se dizer que a proposta do estudo foi cumprida, com base nos mesmos, concluiu-se que:

O traço que teve melhor desempenho foi o traço T30, sendo o que obteve os valores mais próximos com o traço TR, ou seja, foi o traço que manteve melhor a resistência mecânica e as demais características do concreto, sendo a proporção mais indicada para a substituição.

O traço T70 teve resultados satisfatórios no que se refere a resistência à tração, pois quando comparado ao traço de referência, apresentou uma redução de apenas 4,44%. O traço T100 foi o que obteve maiores diferenças de percentuais quando comparado ao traço TR.

Com o ensaio de abatimento notou-se que quanto maior a proporção de agregado graúdo reciclado maior sua absorção e menor seu abatimento e então maior deveria ser a proporção de água/aglomerante, mas para essa análise, o ideal foi manter a mesma relação para uma melhor análise, que foi confirmada por meio do ensaio de absorção que mostrou os mesmos resultados.

Com base nos resultados apresentados, onde consideramos a utilização de entulhos da construção civil, como foi apresentado neste estudo, comprovou-se que é possível e viável, tanto ecologicamente quanto mecanicamente, a utilização da substituição do agregado graúdo por agregado graúdo reciclado, sendo uma solução inteligente e que deve ser mais difundida no Brasil.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro – RJ, 2015.

_____. **NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro – RJ, 2009.

_____. **NBR 7222 - Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro – RJ, 2010.

_____. **NBR 9778 – Argamassa e concreto endurecidos -Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro – RJ, 2009.



_____. **NBR 10004 - Norma Brasileira. Resíduos Sólidos – Classificação.** Rio de Janeiro – RJ, 2004.

_____. **NBR 11578 – Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro – RJ, 1997.

_____. **NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro – RJ, 2009.

_____. **NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro – RJ, 2003.

_____. **NBR NM 67 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro – RJ, 1998.

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

BAZUCO, R. S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos.** Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

BLUMENSCHNEIDER, R. A. **Manual Técnico: Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiro de Obras.** Brasília: SEBRAE/DF. 2007.48 p.

BRAVO, S. R. **Análise de Blocos de Concreto com Resíduo de Borracha de Pneu e Metacaulim.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2014.

CARNEIRO, A.P.; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção. Projeto entulho bom.** EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312 p. 1ª edição. 2001.

CASTRO, C. X. **Gestão de Resíduos na Construção Civil,** 2012. 54 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 307** - Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, 2002.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.



HENZ, D. A. D. **Análise das características mecânicas do concreto produzido com a substituição parcial de agregados graúdos por agregados recicláveis de classe a.** Cascavel, 2017.

LEITE, L.; MATOS, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.
LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria.** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

_____. **Reciclagem do Entulho de Construção Civil, para Utilização como Agregado de Argamassas e Concretos.** Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 146p.

HANSEN, T. C. **Reciclagem de concreto demolido e alvenaria.** RILEM Report 6. \ Ed Chapman & Hall, Londres, 1992.

KARPINSK, L. A. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem.** Porto Alegre: Edipucrs, 2009.

LEAL, U. **Sobras que valem uma obra.** TECHNE: Revista de Tecnologia da Construção, v. 10, n. 55, p. 10-14, 2001.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

RILEM COMMITTEE TC 121-DRG. **Especificações para concreto com agregados reciclados.** Revista Materials and Structures, n° 27, 1994.

SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; HORI, C. Y; JULIOTI, P. S. **Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, n. 2, 2011, p. 57-73.

SCHALCH, V.; CÓRDOBA, R. E. **Estratégia para gestão de resíduos sólidos.** Material didático elaborado para a disciplina de Gestão Ambiental (CD-ROM). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2009.

SIENGE. **Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil.** 2017.
<https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>



SILVA, F. F. D. A. **Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a resolução Conama nº. 307/02 – Estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 2007.

SILVA, M. B. DE. L. E. **Novos Materiais à Base de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Resíduos de Produção de Cal (RPC) para Uso na Construção Civil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná.

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



**CENTRO
UNIVERSITÁRIO**

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

RENATA FABRIS ROCHA

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO NÃO
ESTRUTURAL COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR
AGREGADO GRAÚDO RECICLADO**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da Professora **MESTRE ENGENHEIRA CIVIL MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES**.

BANCA EXAMINADORA



Orientadora Prof. **Mestre Engenheira Civil Maria Vânia Nogueira do Nascimento Peres**.

Centro Universitário Assis Gurgacz
Mestre em Engenharia Civil



Professora **Mestre Engenheira Civil Débora Felten**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Mestre em Engenharia Civil



Professor **Mestre Engenheiro Civil Rodrigo Techio Bressan**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Mestre em Engenharia Civil

Cascavel, 26 de novembro de 2020.