



FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE FERNANDÓPOLIS - FEF
FACULDADES INTEGRADAS DE FERNANDÓPOLIS - FIFE

GABRIEL ERÉDIA AIELLO GAZOLA
GUILHERME ADAME AIDAR
LUCAS FERREIRA GONÇALVES

ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO EM PAVIMENTO INTERTRAVADO

Fernandópolis, SP

2020

**GABRIEL ERÉDIA AIELLO GAZOLA
GUILHERME ADAME AIDAR
LUCAS FERREIRA GONÇALVES**

**ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO
E DEMOLIÇÃO EM PAVIMENTO INTERTRAVADO**

Monografia apresentada à Fundação Educacional de Fernandópolis como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Edson Fábio Paviani

Fernandópolis, SP

2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIEL ERÉDIA AIELLO GAZOLA

GUILHERME ADAME AIDAR

LUCAS FERREIRA GONÇALVES

ESTUDO PARA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM PAVIMENTO INTERTRAVADO

Monografia apresentada à Fundação Educacional de Fernandópolis como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 17/11/2020

Examinadores:

Prof. Ms. Edson Fábio Paviani (orientador)

Instituição: Fundação Educacional de Fernandópolis

Curso: Engenharia Civil

Prof.^a Esp. Fátima Pelisson (convidado)

Instituição: Fundação Educacional de Fernandópolis

Curso: Engenharia Civil

Prof.^a Ms. Anna Beatriz Alves de Mello (convidado)

Instituição: Fundação Educacional de Fernandópolis

Curso: Engenharia Civil

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Gazola, Gabriel Eredia Aiello, 2020-

Estudo para incorporação de resíduos de construção e demolição em pavimentação intertravado/Guilherme Adame Aidar – Lucas Ferreira Gonçalves – 2020 - 53 f. : il. color. ; 30 cm

Orientador: Ms. Edson Fábio Paviani
Monografia (Graduação) – Faculdades Integradas de Fernandópolis, Curso Engenharia Civil, 2020.

1. Construção Civil. 2. Resíduos. 3. Reciclagem. 4. Elemento Intertravado Ms. Edson Fábio Paviani. II. Faculdades Integradas de Fernandópolis. Curso de Engenharia Civil. III. Título.

CDU 531

AGRADECIMENTOS

Agradecemos inicialmente a Deus pela oportunidade, força de vontade, sabedoria e coragem para podermos superar todos os desafios.

À nossa família, em especial nossos pais, por toda paciência, apoio, compreensão e ensinamentos. Ao orientador e Professor Mestre Edson Fábio Paviani, o qual através de seu conhecimento e sabedoria, nos orientou durante todo nosso trabalho até sua conclusão final.

A todos os professores que nos apoiaram durante essa longa e árdua caminhada, em especial a Prof.^a Anna Beatriz Alves de Mello e a Prof.^a Fatima Pelisson, os quais fizeram parte da banca examinadora deste trabalho.

E claro não esquecendo dos colegas de classe, os quais convivemos por alguns anos, sempre apoiando uns aos outros.

RESUMO

A construção civil é um segmento que representa um enorme impacto na economia brasileira, sendo o segundo maior setor econômico do país. Devido a sua grandiosidade, a quantidade de resíduos gerados através das construções, reformas e demolições é muito alta, sendo na casa de 45 milhões de toneladas por ano, outro fator preocupante é a quantidade de recursos naturais que são extraídos da natureza, em que a construção civil é responsável por 50% da sua totalidade.

Este trabalho teve o objetivo avaliar e verificar a eficácia da incorporação dos resíduos de construção e demolição em elementos intertravados, para isso foram confeccionados formas de aço e posteriormente corpos de prova conforme estabelecido nas ABNT NBR 9781:2013 Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaios e na ABNT NBR 5738:2015 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, e conseqüentemente diante das novas tendências de preservação ambiental e de ordem econômica, mostrando as vantagens e dificuldades deste processo, observando as recomendações da Resolução nº 307 do CONAMA. Os corpos de prova foram moldados com diferentes dosagens de agregados miúdos e graúdos reciclados, e através de uma prensa hidráulica avaliou-se a resistência característica à compressão. Após a realização dos ensaios com diferentes dosagens dos agregados, constatou-se que para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, ele poderá ser comercializado normalmente, com exceção da substituição em 100% dos agregados.

Palavras-chave: Construção Civil, Resíduos, Reciclagem, Elemento Intertravado.

ABSTRACT

Civil construction is a segment which represents a huge impact on the Brazilian economy, being the second largest economic sector in the country. Due to its grandeur, the amount of waste generated through construction, renovations and demolitions is very high, being around 45 million tons per year, another worrying factor is the amount of natural resources that are extracted from nature, in which the civil construction is responsible for 50% of its totality.

This work aims to evaluate and verify the effectiveness of incorporating construction and demolition waste into interlocking elements, for this purpose steel shapes were made and later specimens as established in ABNT NBR 9781: 2013 Concrete paving parts - Specification and testing methods and in ABNT NBR 5738: 2015 Concrete - Procedure for molding and curing specimens, and consequently in the face of new trends in environmental and economic preservation, showing the advantages and difficulties of this process, observing the recommendations of Resolution nº 307 of CONAMA. The specimens were molded with different dosages of recycled aggregates and coarse aggregates, and through a hydraulic press the characteristic compressive strength was evaluated. After carrying out the tests with different dosages of the aggregates, it was found that for heavy pedestrian traffic, light vehicles and commercial vehicles, it can be sold normally, except for the replacement in 100% of the aggregates.

Keywords: Civil Construcion, Waste, Recycling, Interlocked Element.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cimento.....	22
Figura 2 - Areia grossa natural.....	23
Figura 3 - Brita zero/pedrisco natural.....	23
Figura 4 - Areia reciclada.....	24
Figura 5 - Brita/pedrisco reciclada.....	25
Figura 6 - Central de Reciclagem: A) armazenamento de materiais aguardando processamento; B) triturador.....	26
Figura 7 - Desmoldante utilizado.....	27
Figura 8 - Agregados dispostos para secagem natural.....	28
Figura 9 - Obtenção do teor de umidade: A) pesagem inicial; B) secagem em estufa.....	29
Figura 10 - Ensaio de análise granulométrica.....	31
Figura 11 - Formas de aço.....	33
Figura 12 - Teste de resistência característica à compressão: A) Prensa; B) Teste; C) Ruptura.....	36
Figura 13 - Teste de absorção de água: A) Pesagem do corpo de prova antes da imersão em água; B) corpo de prova imergido na água;C) pesagem do corpo de prova após retirada da água.....	37
Figura 14 - Curva granulométrica da areia natural.....	39
Figura 15 - Curva granulométrica da areia reciclada.....	41
Figura 16 - Curva granulométrica do pedrisco natural.....	42
Figura 17 - Curva granulométrica do pedrisco reciclado.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto. ...	21
Tabela 2 - Quantidade de agregado utilizado.	30
Tabela 3 - Traço teórico do concreto.	32
Tabela 4 - Traço do concreto efetivamente utilizado.	33
Tabela 5 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova ^a	34
Tabela 6 - Fator multiplicativo p.	37
Tabela 7 - Demais propriedades dos agregados miúdos.	38
Tabela 8 - Demais propriedades dos agregados graúdos.	39
Tabela 9 - Granulometria areia natural.	40
Tabela 10 - Limites da distribuição granulométrica.	40
Tabela 11 - Granulometria areia reciclada.	41
Tabela 12 - Granulometria pedrisco natural.	42
Tabela 13 - Granulometria pedrisco reciclado.	43
Tabela 14 - Valores médios de resistência à compressão de acordo com cada traço.	45
Tabela 15 - Resultados obtidos para os blocos de concreto (POON et al., 2002).	46
Tabela 16 - Valores médios de absorção de água de acordo com cada traço.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição;

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais;

ANC - Agregado Natural de Concreto;

ARC - Agregado Reciclado de Concreto;

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria e da Construção;

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;

FEF - Fundação Educacional de Fernandópolis;

FIEMG - Federação da Indústria do Estado de Minas Gerais;

FIFE - Faculdades Integradas de Fernandópolis;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora;

PIB - Produto Interno Bruto;

RCD - Resíduos de Construção e Demolição;

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos;

LISTA DE SIMBOLOS

% - Porcentagem;

MPa - Mega Pascal;

kgf - Quilograma Força;

N - Newton;

t - Tonelada;

ml - Mililitro;

kg - Quilograma;

kg/m³ - Quilograma por metro cúbico;

mm² - Milímetro por metro quadrado;

h - Hora;

g - Grama;

l - Litro;

f_{cmj} - Resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias expressa em megapascais (MPa);

f_{ck} - Resistência característica do concreto à compressão, aos j dias expressa em mega pascal (MPa);

S_d - Desvio padrão da dosagem, expressa em megapascais (MPa);

U_t - Teor de umidade total (%);

m_u - Massa do agregado em seu estado natural (g);

m - Massa do agregado seco em estufa (g);

μ - Massa específica (Kg/m³);

m - Massa da amostra (g);

V - Volume do recipiente (l);

σ - Resistência característica à compressão (MPa);

F - Carga de ruptura (N);

A - Área de carregamento (mm²);

ρ - Fator em função da altura da peça;

A - Absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 - Massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 - Massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

CO₂ - Dióxido de carbono

C₃S - Silicato Tri-calcico

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO.....	15
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
5	MATERIAIS E MÉTODO	19
5.1	Método de dosagem de concreto.....	20
5.1.1	Método de dosagem ABCP	20
5.2	Materiais.....	21
5.2.1	Cimento	21
5.2.2	Agregados Naturais.....	22
5.2.2.1	Areia Grossa.....	22
5.2.2.2	Brita Zero (Pedrisco).....	23
5.2.3	Agregados Reciclados.....	24
5.2.3.1	Areia Reciclada.....	24
5.2.3.2	Brita Reciclada (Pedrisco Reciclado)	24
5.2.3.3	Central de Reciclagem de Votuporanga-SP	25
5.2.4	Água.....	26
5.2.5	Desmoldante	26
5.3	Ensaio de Caracterização dos Agregados.....	27
5.3.1	Preparação das Amostras	27
5.3.1.1	Secagem Inicial.....	27
5.3.1.2	Secagem em Estufa.....	28
5.3.2	Teor de Umidade Total	28
5.3.3	Determinação da Massa Específica.....	30
5.3.4	Ensaio de Granulometria.....	30
5.4	Definição do Traço e Teores de Substituição.....	31
5.4.1	Escolha do Traço de Referência.....	31
5.4.2	Escolha do Agregado a ser substituído.....	31
5.4.3	Definição dos Teores de Substituição.....	31
5.5	Produção das Formas dos Corpos de Prova	32
5.6	Fabricação dos Corpos de Prova.....	33
5.7	Testes.....	35
5.7.1	Inspeção Visual	35
5.7.2	Resistência Característica à Compressão	36
5.7.3	Absorção de Água	37
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38

6.1	Demais Propriedades dos Agregados Natural e Reciclado.....	38
6.1.1	Agregados Miúdos.....	38
6.1.2	Agregados Graúdos.....	39
6.2	Análise Granulométrica	39
6.2.1	Agregados Miúdos.....	39
6.2.2	Agregados Graúdos.....	42
6.3	Análise de Inspeção Visual.....	43
6.4	Análise de Determinação da Resistência à Compressão.....	44
6.5	Análise da Determinação de Absorção de Água.....	46
7	CONCLUSÃO.....	48
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O nome Construção Civil se dá em razão da construção interagir com cidade ou população, antigamente a engenharia era dividida em duas áreas, militar e civil. Essa “divisão” perdeu espaço ao longo do tempo, e se caracteriza como Construção Civil a participação de engenheiros e arquitetos civis em conjunto com outras áreas de conhecimento.

O auge deste setor no Brasil foi na década de 1940 durante o governo de Getúlio Vargas, devido ao alto investimento estatal no desenvolvimento de estruturas. O Brasil naquela época era um importante conhecedor de tecnologia de concreto tanto para atividades civis, quanto militares.

Segundo a Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais – FIEMG (2019), a Construção Civil é considerada como o segundo setor econômico do país, atrás apenas da Agroindústria, representando cerca de 16% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro.

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020) nos anos de maior crescimento do país, como em 2010, quando o PIB do Brasil teve aumento de 7,5%, o PIB da construção civil cresceu 11,6%. Em 2019, o PIB brasileiro fechou com um crescimento de 1,1% totalizando R\$ 7,3 trilhões, e a construção civil teve um aumento de cerca de 1,6%, sendo seu melhor desempenho após cinco anos seguidos acumulando retração, totalizando 27,7%.

Atualmente mesmo sem estar no seu auge, a construção civil teve em 2019 um grande crescimento, gerando cerca de 124 mil novas vagas de emprego no setor, conforme informações da Câmara Brasileira da Indústria e Construção – CBIC (2019).

Em contrapartida a todos estes elogios dados ao setor da Construção Civil, encontram-se um grande problema em questão, os resíduos, que também são conhecidos como entulho, caliça ou metralha, o consumo bastante significativo de recursos naturais, além é claro, das alterações de diversas paisagens.

Estas questões são consideradas um problema muito antigo e que nos leva a pensar em diversas ideias, como exemplo: Como podemos construir sem que haja a geração de resíduos? O que devemos fazer com os resíduos produzidos? Como podemos realizar a redução na geração de resíduos? Qual destinação final do resíduo com o menor custo benefício para as construtoras e o meio ambiente? Com o crescimento das cidades,

este assunto vem ganhando cada vez maiores proporções no mercado e com uma urgência para a solução destes problemas.

A minimização dos impactos ambientais só surtirá efeito se conseguíssemos diminuir drasticamente o consumo de recursos naturais e geração de resíduos; para isso a solução seria adotar a prática dos 3 R's:

- Redução: consumir menos produtos e preferir aqueles que ofereçam menor potencial de geração de resíduos e tenham maior durabilidade;
- Reutilização: usar novamente as embalagens que tenham condições;
- Reciclar: transformar os materiais para a produção de matéria prima para outros produtos por meio de processos industriais ou manuais, ou seja, produzir um produto a partir de um material usado.

No caso da Construção Civil, o ideal seria o processo de reciclagem dos resíduos que são gerados (restos de tijolos, concreto, telhas, argamassa, etc.), substituindo tanto o agregado miúdo (areia) quanto o agregado graúdo (brita), entretanto, para que isso realmente surta efeito, são necessárias diversas pesquisas e testes laboratoriais, fazendo com que os mesmos apresentem resultados que atinjam as exigências estipuladas por normas.

2 OBJETIVO

Avaliar e verificar a eficácia da incorporação dos resíduos de construção e demolição em elementos intertravados conforme exigências da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e Métodos de Ensaio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2013) e, conseqüentemente, diante das novas tendências de preservação ambiental e de ordem econômica, mostrando as vantagens e dificuldades deste processo, observando as recomendações da Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002).

3 JUSTIFICATIVA

Os resíduos de construção civil geram grandes problemas para a sociedade, poder público e meio ambiente, dentre esses se destacam dois, os quais foram os principais responsáveis pela escolha do tema do presente trabalho: a grande

quantidade de resíduos de construção civil que são gerados através de construções, reformas, demolições etc.; outro fator é o impacto ambiental que estes itens causam para o meio ambiente.

A justificativa para realização deste trabalho é que através de estudos realizados e projetos desenvolvidos, será possível verificar se há uma solução para a destinação dessa quantidade de resíduos gerados, seja de construções, reformas e/ou demolições e minimizar o impacto ambiental, tanto na extração de recursos naturais, quando para descarte do resíduo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e, desde o início, foi executada gerando como subprodutos grande quantidade de resíduos inertes. Esse fato chamou atenção dos construtores já na época do Império Romano, quando já são encontrados registros de reutilização dos resíduos da construção na produção de novas obras (LEVY e HELENE, 1995).

Este setor ocupa posição de destaque na economia nacional, quando considerada a significativa parcela do PIB do país pela qual é responsável e pelo contingente de pessoas que, direta ou indiretamente, emprega. Por outro lado, esta indústria é responsável por cerca de 50% do CO₂ lançado na atmosfera e por quase metade da quantidade dos resíduos sólidos gerados no mundo (JOHN, 2000), além do acréscimo na quantidade, os resíduos produzidos atualmente passaram a abrigar em sua composição elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e a saúde humana, em virtude das novas tecnologias incorporadas ao cotidiano (FERREIRA e ANJOS, 2001).

Os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pela quantidade expressiva do entulho e o seu descarte inadequado impõem a necessidade de soluções rápidas e eficazes para a sua gestão adequada. Estima-se que a construção civil é responsável por algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (SJÖSTRÖM, 1992). Em razão disso, decorre a prioridade de uma ação conjunta da sociedade – poderes públicos, setor industrial da construção civil e sociedade civil organizada – na elaboração e consolidação de programas específicos que visem à minimização desses impactos. As políticas ambientais relacionadas ao tema devem voltar-se para o adequado manuseio,

redução, reutilização, reciclagem e disposição desses resíduos (CASSA; CARNEIRO; BRUM, 2001).

Diariamente, são coletadas no Brasil aproximadamente 215 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) e desse total, cerca 123 são resíduos sólidos oriundos da construção e demolição (RCD) (ABRELPE, 2017).

No Brasil, no ano de 2017, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) contabilizou a coleta de 45 milhões de toneladas de resíduos provenientes de construções e demolições em municípios das regiões Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, sendo 0,08% menor em relação ao ano de 2015.

De acordo com Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON), o Brasil desperdiça 8 bilhões de reais por ano porque não recicla seus produtos. Os números indicam que 60% do resíduo sólido das cidades vêm da construção civil e 70% desse total poderia ser reutilizado.

É fundamental implementar a minimização e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos, com participação da sociedade na busca de soluções, visando à redução dos riscos sanitários e ambientais, à melhoria da qualidade de vida e da saúde das populações e ao desenvolvimento sustentável. (GÜNTHER, 1999).

Um bom gerenciamento do RCD é necessário para garantir que sua redução, reuso e a reciclagem sejam crescentes, rumo à sustentabilidade (FERREIRA; MOREIRA, 2013). De acordo com Angulo (1998): “Parte significativa dos materiais que entra em uma obra sai, ao final, na forma de lixo, mistura de cacos cerâmicos, argamassa, concreto, madeira, papel e terra”.

As atividades de construção demandam uma quantidade notável de materiais inertes, tais como areia e cascalho, usualmente fornecidos por meio da extração de sedimentos aluviais, que modifica o perfil e o equilíbrio dos rios, além de introduzir problemas ambientais, tais como modificações em sua estrutura hidrológica e hidrogeologia. A extração de material inerte de formações rochosas em área acidentadas e montanhosas também é uma danosa atividade ao meio-ambiente, uma vez que altera a paisagem e provoca problemas de instabilidade (FERNANDES; AMORIM 2014) e (CABRL et al). Por isso a substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados apresenta diversas vantagens, como economia na aquisição de matéria-prima, redução da poluição gerada pela

produção dos agregados e melhora na preservação das reservas naturais de matéria-prima do planeta (PEREIRA; MEDEIROS; LEVY, 2012).

As principais aplicações do RCD e dos Agregados Reciclados de Concreto (ARC) ocorrem em bases e sub-bases de pavimentação (POON et al., 2006). Os processos e custos de transporte, moagem e separação do agregado de concreto, entretanto, são fatores limitantes para a aplicação. Perante essa ótica, a utilização do ARC em aplicações mais nobres, como na fabricação de novos concretos, é uma alternativa interessante.

Sabe-se que para a produção do concreto são utilizados como matéria-prima os agregados graúdos e miúdos (pedras britadas, areia e pedregulhos), aglomerantes (cimento ou cal), água e aditivos (corantes ou fibras). Quimicamente os óxidos encontrados no RCD são constituídos, preferencialmente, de alumina, óxidos de cálcio, magnésio e sílica, correspondendo à composição básica dos agregados, tornando viável a sua utilização em misturas de concretos (PIAIA et al., 2013).

É de extrema importância que os envolvidos neste ramo superem a visão nostálgica de que a “construção sustentável” representa um gasto e não um investimento, formando um consenso de que esta visão tornará o setor mais formal, com melhores empregos, reduzindo os riscos das empresas e aumentando o bem-estar da população. Nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações. A cadeia produtiva da construção civil apresenta importantes impactos ambientais em todas as etapas de seu processo: extração de matérias primas, produção de materiais, construção, uso e demolição. Qualquer sociedade seriamente preocupada com esta questão deve colocar o aperfeiçoamento da construção civil como prioridade (JOHN, 2000).

Características como a heterogeneidade da composição; a massa específica com menor densidade; a qualidade da argamassa aderida e a variabilidade das propriedades são características importantes dos agregados reciclados, que representam obstáculos não apenas para a sua utilização, como também para a confiabilidade da mesma nos concretos utilizados em aplicações estruturais (LOVATO et al. (2012); ETXBERRIA et al. (2007); TABSH et al. (2009), KWAN et al. (2012); CABRAL et al. (2010)).

As consequências dessas características são observadas nos próprios agregados reciclados. Suas propriedades normalmente não obedecem às normas comumente destinadas a agregados naturais (QUEBAUD et al., 1999); e nos ARC feitos com os mesmos agregados tendem a dar menos trabalho, serem mais fracos, mais deformados (módulo menor de elasticidade), mais porosos e mais permeáveis (TABSH et al., 2009; ETXEBERRIA et al., 2007). No caso de concreto agregado reciclado, é necessário adicionar mais cimento ao concreto feito de 100% de agregado reciclado para obter a mesma trabalhabilidade e resistência à compressão do concreto convencional (ETXEBERRIA et al., 2007).

Conforme descrito por Kou (2011), a porosidade do ARC é normalmente maior do que a do Agregado Natural de Concreto (ANC) devido à argamassa aderida presente nos agregados reciclados. A porosidade e a distribuição do tamanho dos poros são as características mais importantes do sistema de poros do concreto, que influencia a penetração de substâncias externas no interior do concreto. Portanto, é importante entender o desenvolvimento do sistema de poros para avaliar as propriedades de durabilidade do concreto agregado reciclado.

Os pavimentos intertravados surgiram há milhares de anos desde a época do Império Romano, entretanto nas últimas décadas conquistaram sua popularidade, em razão de sua praticidade e versatilidade, tanto para execução quanto para manutenção comparado aos outros tipos de pavimentos. Sua eficiência estética, facilidade de estocagem e a homogeneidade das peças são qualidades reconhecidas (SAMIELE, 2010). De acordo com a Interpavi (2016), a pavimentação intertravada representa uma opção intermediária entre os pavimentos rígido (concreto) e flexível (asfalto), somando vantagens de ambos e se configurando como uma alternativa viável, técnica e economicamente.

Outra questão importante que fez com que estes pisos ganhassem mercado são as questões ambientais e sustentáveis, pois contribuem para obras mais limpas e racionais, e o fato favorecerem a permeabilidade onde instalado, permitindo a drenagem pluvial. Vieira (2014) aponta ainda que essa tecnologia pode ser considerada ecologicamente correta, uma vez que os pavimentos intertravados facilitam a percolação da água, contribuindo com a diminuição do risco de enchentes e permitindo a reposição das reservas subterrâneas de água.

5 MATERIAIS E MÉTODO

5.1 Método de dosagem de concreto

Para a realização da dosagem de concreto deste projeto, utilizou-se o método da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, a qual é amplamente utilizada no Brasil, sendo considerado um método mais racional, pois leva em consideração as propriedades físicas e mecânicas do cimento utilizado, assim como, dos agregados (MARMITTI et al, 2016). Faixas de trabalhabilidade podem ser escolhidas e o desvio padrão pode ser adotado entre os destacados pela ABNT NBR 12655 (2015) para obtenção da resistência de dosagem ($f_{ck} 28 MPa$).

5.1.1 Método de dosagem ABCP

O Método ABCP foi publicado em 1984 como um estudo técnico titulado “Parâmetros de Dosagem Racional do Concreto”, de autoria do Eng. Públio Penna Firme Rodrigues, a qual foi revisada em 1995. Trata-se de uma adaptação do método americano para as condições de agregados graúdos e miúdos brasileiros (RODRIGUES, 1983).

Segundo a ABNT NBR 12655 (2015), a resistência de dosagem deve atender às condições de variabilidade prevalentes durante a construção. Esta variabilidade medida pelo desvio-padrão, S_d , é levada em conta no cálculo da resistência de dosagem, segundo a Equação 1:

$$f_{cmj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d \quad (1)$$

Onde:

- f_{cmj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias expressa em megapascais (MPa);
- f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias expressa em megapascais (MPa);
- S_d é o desvio padrão da dosagem, expressa em megapascais (MPa);

O cálculo da resistência de dosagem do concreto depende, entre outras variáveis, das condições de preparo do concreto, definidas a seguir:

a) Condição A (aplicável a todas as classes de concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa

ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;

b) Condição B (pode ser aplicada às classes C10 a C20): o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume, de acordo com o exposto em 5.4;

c) Condição C (pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR NM 67 (1998), ou outro método normalizado.

Para concretos com o desvio padrão não conhecido, deverá adotar os valores conforme a Tabela 01.

Tabela 1 - Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.

Condição do preparo do concreto	Desvio padrão (MPa)
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Fonte: NBR 12655:2015 página 17.

5.2 Materiais

As matérias primas utilizadas na mistura da massa, para confecção dos corpos de prova (pavers) foram o cimento, agregado graúdo (pedrisco e/ou pedrisco reciclado), agregados miúdos (areia grossa e/ou areia grossa reciclada) e água.

5.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o Portland do tipo de alta resistência inicial, conhecido como CP V-ARI, o qual atende às necessidades de alta resistência inicial. Isso se deve em função do seu teor mais elevado de silicato tri-cálcico – C₃S (mais alto do que 55%, chegando a 70%), sua resistência à compressão inicial aos 7 dias pode

chegar aos 34 MPa (Figura 1). Podendo ser adquirido em lojas de matérias para construção.

Figura 1 - Cimento.



Fonte: Votorantim Cimentos.

Com maiores resistências já nas primeiras idades, os artefatos produzidos com CP V ARI podem ser manuseados já no dia seguinte à fabricação, além de apresentarem menores índices de quebra durante a fase de paletização. Desta forma, o CP V ARI é um dos mais indicados para a produção de blocos e pavers (FERNANDES, 2016).

5.2.2 Agregados Naturais

5.2.2.1 Areia Grossa

Como agregado miúdo natural, foi utilizado areia grossa, de granulometria 0,15 mm e 2,36 mm (Figura 2), que pode ser adquirida em lojas de materiais de construção.

Figura 2 - Areia grossa natural.



Fonte: Os autores.

5.2.2.2 Brita Zero (Pedrisco)

Como agregado graúdo foi utilizada brita zero, também conhecida como pedrisco, de granulometria 0,30 mm a 4,75 mm (Figura 3) que pode ser adquirido em lojas de materiais de construção.

Figura 3 – Brita zero/pedrisco natural.



Fonte: <http://www.arealjs.com.br/?portfolio=brita-0-pedrisco>.

5.2.3 Agregados Reciclados

5.2.3.1 Areia Reciclada

Como agregado miúdo reciclado, utilizou-se a areia reciclada, de granulometria 0,15 mm e 2,36 mm (Figura 4), adquirido na empresa MEJAN AMBIENTAL, a qual realiza a reciclagem dos RCD.

Figura 4 – Areia reciclada.



Fonte: Os autores.

5.2.3.2 Brita Reciclada (Pedrisco Reciclado)

Como agregado graúdo reciclado, utilizou-se a brita reciclada, também conhecida como pedrisco reciclado, de granulometria 0,15 mm e 4,75 mm (Figura 5), adquirida na empresa MEJAN AMBIENTAL, a qual realiza a reciclagem dos RCD.

Figura 5 – Brita/pedrisco reciclada.



Fonte: Os autores.

5.2.3.3 Central de Reciclagem de Votuporanga-SP

Todos resíduos de construção e demolição logo que chegam na empresa de reciclagem, são despejados e armazenados em um depósito a céu aberto, aguardando seu processamento (Figura 6A). Antes do início do processo, é realizado uma triagem de forma manual do material, sendo retiradas todas as madeiras e seus derivados, logo em seguida, todo este material é colocado em um triturador (Figura 6B) através de um caminhão basculante. Após o processo de trituração dos materiais, os mesmos são recolhidos e armazenados em um depósito a céu aberto.

Figuras 6A e 6B – Central de Reciclagem: 6A armazenamento de materiais aguardando processamento; 6B triturador.



Fonte: Os autores.

Segundo o CONAMA (2002), os resíduos de construção são classificados conforme seu potencial de reciclagem, sendo que este estudo analisou a utilização de resíduos Classe A composto por material cerâmico, concreto e argamassa.

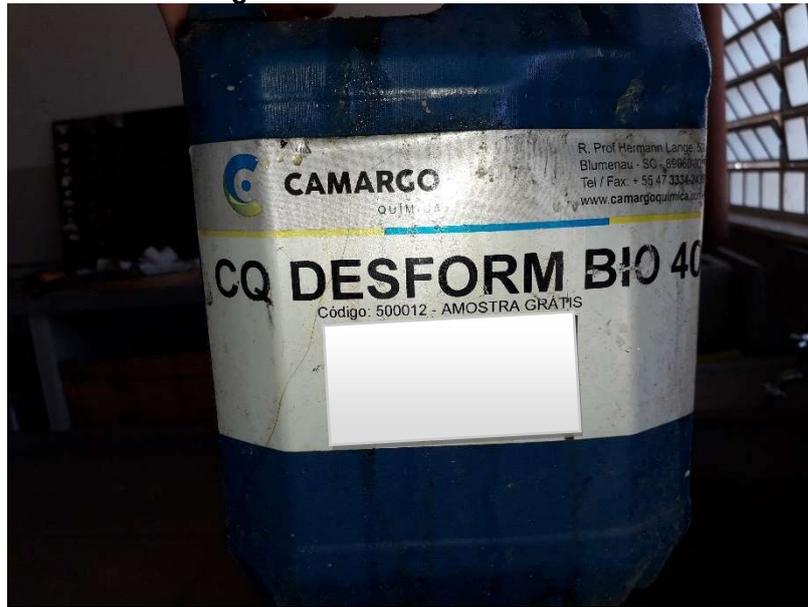
5.2.4 Água

A água utilizada na fabricação das peças foi a mesma que é utilizada pela Fundação Educacional de Fernandópolis/Faculdades Integradas de Fernandópolis (FEF/FIFE), fornecida através da

5.2.5 Desmoldante

O desmoldante utilizado para aplicação nas formas foi o CQ DESFORM BIO 40, cedido pela FEF/FIFE constituído à base de óleo vegetal, de um líquido dourado (Figura 7), a qual pode ser adquirida em lojas de materiais de construção.

Figura 7 – Desmoldante utilizado.



Fonte: Os autores.

Conforme Abbate (2003), esses produtos quando aplicados, formam uma camada fina entre a forma e o concreto, impedindo a aderência entre ambos, o que facilita a desforma e aumenta o reaproveitamento da mesma.

5.3 Ensaio de Caracterização dos Agregados

5.3.1 Preparação das Amostras

5.3.1.1 Secagem Inicial

Todos os agregados, tanto os naturais quanto os reciclados foram dispostos sobre lonas no piso do laboratório da FEF/FIFE, por um período de 7 dias para que fosse realizado a secagem natural dos mesmos (Figura 8).

Figura 8 – Agregados dispostos para secagem natural.



Fonte: Os autores.

5.3.1.2 Secagem em Estufa

Para a realização da secagem dos agregados através da estufa, foi coletada uma amostra de cada agregado, e mantido na estufa por um período de 24 horas a uma temperatura aproximada de $100 \pm 5^\circ \text{C}$.

5.3.2 Teor de Umidade Total

O ensaio para obtenção do teor de umidade total dos agregados miúdos utilizou-se as recomendações da ABNT NBR NM 30 (2001), e a ABNT NBR NM 53 (2006) para os agregados graúdos, a qual consiste basicamente em medir a massa de uma amostra pré-definida de material em seu estado natural, secá-lo em estufa a $105 \pm 5^\circ \text{C}$ e após a secagem, medir a massa novamente, conforme Figuras 9A e 9B.

Figuras 9A e 9B – Obtenção do teor de umidade: 9A pesagem inicial; 9B secagem em estufa.



Fonte: Os autores.

A relação em porcentagem entre a diferença de massa nas duas condições e a massa na condição seca fornece o teor de umidade total do agregado, conforme Equação 2 abaixo:

$$U_t = \left(\frac{m_u - m}{m} \right) \times 100 \quad (2)$$

U_t = teor de umidade total (%);

m_u = massa do agregado em seu estado natural (g);

m = massa do agregado seco em estufa (g).

Para a determinação do teor de umidade total foi utilizada uma amostra de cada agregado, todas com massas diferentes (Tabela 2).

Tabela 2 - Quantidade de agregado utilizado.

Tipo de agregado	Massa (gramas)
Areia natural	355
Areia reciclada	266
Pedrisco natural	343
Pedrisco reciclado	280

Fonte: Os autores.

5.3.3 Determinação da Massa Específica

Para os agregados graúdos (pedriscos) e para os agregados miúdos (areias), naturais e reciclados, o procedimento do ensaio de massa unitária foi realizado com base nas normas ABNT NBR NM 52 (2003) e ABNT NBR NM 53 (2003) respectivamente. Essas normas define a relação da massa do seu agregado dentro de um recipiente qualquer, em função do volume deste mesmo recipiente, conforme Equação 3 a seguir:

$$\mu = \left(\frac{m}{V}\right) \times 1000 \quad (3)$$

Onde:

μ = massa específica (kg/m³)

m = massa da amostra (g);

V = volume do recipiente (l).

5.3.4 Ensaio de Granulometria

A análise granulométrica de todos os agregados foi executada com base na norma ABNT NBR NM 248 (2003), sendo os parâmetros de aceitação e classificação dos agregados fornecidos pela ABNT NBR 7211 (2009). O ensaio se resume em colocar uma amostra de massa pré-estabelecida sobre um conjunto de peneiras e agitá-las mecânica ou manualmente, durante um tempo razoável para permitir a separação dos diferentes tamanhos de grãos. Após a agitação, a massa retida em cada peneira é verificada.

Para todos os agregados, tanto o miúdo quanto o graúdo foi ensaiada uma única amostra seca de massa igual a 500 gramas cada. Todas as amostras foram

agitadas mecanicamente durante 10 minutos. A Figura 10 ilustra o ensaio de granulometria para os agregados miúdos e graúdos.

Figura 10 – Ensaio de análise granulométrica.



Fonte: Os autores.

5.4 Definição do Traço e Teores de Substituição

5.4.1 Escolha do Traço de Referência

O traço utilizado foi o seguinte: 1:2,17:3,06:0,65, sendo respectivamente cimento, areia, brita e água.

5.4.2 Escolha do Agregado a ser substituído

Os agregados substituídos foram a areia natural e pedrisco natural, sem que houvesse quaisquer análises técnicas ou científicas.

5.4.3 Definição dos Teores de Substituição

Os teores de substituição foram definidos em 25%, 50%, 75% e 100% sobre a massa do agregado miúdo natural e agregado graúdo natural.

Durante a análise de outras pesquisas referente a fabricação de pavers, com incorporação de RCD, observou-se que para diminuir a já esperada perda de resistência do concreto e a grande quantidade de absorção de água, causada pela maior porosidade do agregado reciclado, alguns autores optaram por elevar o teor de cimento e água no traço e outros não.

Esta questão, mesmo que verdadeira, é contrária a ideia de sustentabilidade envolvendo a reciclagem do RCD, pois sabe-se que a produção do cimento, necessita de um grande consumo energético de recursos naturais, além de estar ligada à emissão de gases de efeito-estufa (MAURY e BLUMENSCHHEIN, 2012).

Analisando neste sentido, inicialmente, nenhuma correção na quantidade de aglomerante será realizada. A Tabela 3 apresenta os traços definidos para a produção dos pavers.

Tabela 3 - Traço teórico do concreto.

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Areia reciclada (Kg)	Pedrisco natural (kg)	Pedrisco reciclado (Kg)	Água (L)
Padrão	4,325	9,765	0,000	13,770	0,000	2,8125
25% RCD	4,325	7,324	2,441	10,328	3,443	2,8125
50% RCD	4,325	4,883	4,883	6,885	6,885	2,8125
75% RCD	4,325	2,441	7,324	3,443	10,328	2,8125
100% RCD	4,325	0,000	9,765	0,000	13,770	2,1825

Fonte: Os autores.

5.5 Produção das Formas dos Corpos de Prova

Para fabricação das seis formas de aço (Figura 11), seguiu-se as orientações dos itens 5.2 e 5.3 da ABNT NBR 9781 (2013) com as seguintes medidas internas de 100 x 200 x 90 mm, sendo largura, comprimento e altura respectivamente. O material utilizado para a confecção foram chapas de 1,4 mm de espessura, sendo que todo o material foi cortado e dobrado na empresa JACICAL localizada na cidade de Jales-SP, a qual trabalha no ramo de construção civil e posteriormente finalizada na residência de um dos autores. Além das chapas, foram utilizados 12 parafusos de 3/8", 12 porcas do tipo borboleta de 3/8".

Figura 11 – Formas de aço.

Fonte: Os autores.

5.6 Fabricação dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram confeccionados no interior do laboratório do curso de Engenharia Civil da FEF/FIFE.

Em razão do alto número de vazios que os agregados reciclados apresentam e conseqüentemente maior absorção de água, houve a necessidade de realizar uma alteração no traço dos materiais, conforme pode-se verificar na Tabela 4.

Tabela 4 - Traço do concreto efetivamente utilizado.

Traço	Cimento (kg)	Areia natural (kg)	Areia reciclada (Kg)	Pedrisco natural (kg)	Pedrisco reciclado (Kg)	Água (L)
Padrão	4,325	9,765	0,000	13,770	0,000	2,8125
25% RCD	5,180	7,324	2,441	10,328	3,443	3,3670
50% RCD	5,795	4,883	4,883	6,885	6,885	3,7670
75% RCD	6,410	2,441	7,324	3,443	10,328	4,1670
100% RCD	7,025	0,000	9,765	0,000	13,770	4,5670

Fonte: Os autores.

Após mistura homogênea, parte foi separada para o teste slump, enquanto outra parte foi utilizada para preenchimento dos moldes dos corpos de prova, já

previamente revestidos internamente com uma fina camada de lubrificante que não reaja ao cimento.

Conforme ABNT NBR 5738 (2015) item 7.3.2, ao introduzir o concreto, deslocou-se a concha ao redor da borda do molde, de forma a assegurar uma distribuição simétrica e, imediatamente, com a haste em movimento circular, nivelou-se o concreto antes de iniciar seu adensamento.

Para definição do número de camadas e golpes, devem ser atendidos os requisitos da Tabela 05 da ABNT NBR 5738 (2015) item 7.4.1.2.

Tabela 5 - Número de camadas para moldagem dos corpos de prova^a.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-

^a Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

^b No caso da dimensão básica de 150 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: NBR 5738:2015 página 05.

O item 7.4.2 da ABNT NBR 5738 (2015), possui os seguintes dizeres:

Adensamento manual

7.4.2.1 Introduzir o concreto no molde em camadas de volume aproximadamente igual e adensar cada camada utilizando a haste, que deve penetrar no concreto com seu extremo em forma de semiesfera o número de vezes definido na Tabela 5.

- 7.4.2.2 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.
- 7.4.2.3 Deve-se bater levemente na face externa do molde, até o fechamento de eventuais vazios.
- 7.4.2.4 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. Em nenhum caso, é aceito completar o volume do molde com concreto após o adensamento da última camada.

5.7 Testes

As propriedades dos elementos obtidos (corpos de prova) foram analisadas através de testes de inspeção visual, resistência característica à compressão e absorção de água, conforme recomendações da ABNT NBR 9781 (2013), a qual apresenta diretrizes para ensaios de peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio.

Todos os testes, inspeção visual, absorção de água e resistência à compressão, foram realizados entre os meses de setembro e outubro de 2020, no laboratório de Engenharia Civil, nas dependências da FEF/FIFE, localizada na cidade de Fernandópolis – SP.

5.7.1 Inspeção Visual

Este teste foi realizado para analisar e identificar peças que venham a apresentar defeitos, que possam comprometer o assentamento, o desempenho estrutural e/ou a estética do pavimento (Figura 12).

As características analisadas dos elementos foram as seguintes: arestas regulares e ângulos retos, livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação.

5.7.2 Resistência Característica à Compressão

O teste consiste em submeter os corpos de prova em uma máquina de ensaio de compressão (Figura 12A), no entanto é necessário realizar a medição do corpo de prova antes dos testes com auxílio de um paquímetro e serem saturadas em água a uma temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por 28 dias.

Esta máquina é do tipo hidráulica, com acionamento manual, com capacidade de 50 toneladas, sendo exercida uma força até que o elemento sem rompa (Figura 12B). Após o rompimento do elemento (Figura 12C), faz-se a leitura no equipamento, a qual registra o pico máximo de carga em quilograma força (kgf).

Figura 12A 12B 12C - Teste de resistência característica à compressão: 12A Prensa; 12B Teste; 12C Ruptura.



Fonte: Os autores.

A resistência característica à compressão da peça, é expressa conforme Equação 4:

$$\sigma = \frac{F}{A} \times p \quad (4)$$

Onde:

- σ é a resistência característica à compressão (MPa);
- F é a carga de ruptura (N);
- A é a área de carregamento (mm^2);

- ρ é o fator em função da altura da peça (Tabela 6).

Tabela 6 - Fator multiplicativo ρ .

Espessura nominal das peças (mm)	ρ
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR 9781:2013 página 11.

5.7.3 Absorção de Água

Este teste consiste em pesar os corpos de prova individualmente (Figura 13A) para obtenção da massa seca (m_1) e imergi-los em água (Figura 13B) a uma temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, pelo período de 28 dias. Após essa etapa os corpos de prova foram retirados do tanque com água e pesados individualmente (Figura 13C) para verificar sua massa específica (m_2).

Figura 13A 13B 13C – Teste de absorção de água: 13A Pesagem do corpo de prova antes da imersão em água; 13B corpo de prova imerso na água; 13C pesagem do corpo de prova após retirada da água.



Fonte: Os autores.

Após a obtenção de m_1 e m_2 , encontra-se o valor da absorção de água de cada corpo de prova, conforme Equação 5:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);
- m1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);
- m2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A intenção deste item é apresentar os valores médios dos resultados obtidos nos testes realizados (análise do teor de umidade total, análise da massa específica, análise granulométrica, análise de inspeção visual, análise de determinação da resistência à compressão e análise da determinação da resistência de absorção de água), verificando e analisando a visibilidade da substituição dos agregados reciclados (areia grossa e pedrisco) na massa cimentícia para fabricação de pavers.

6.1 Demais Propriedades dos Agregados Natural e Reciclado

6.1.1 Agregados Miúdos

Os valores obtidos nos ensaios de determinação do teor de umidade total, e análise da massa específica para a areia natural e areia reciclada estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Demais propriedades dos agregados miúdos.

Norma ABNT	Propriedade avaliada	Areia natural	Areia reciclada
NBR NM 30	Teor de umidade (%)	0,00	1,53
NBR NM 52	Massa específica (kg/m ³)	1676	1408

Fonte: Os autores.

Vale ressaltar que embora o teor de umidade total dos agregados tenha sido analisado, não foi adotado este como parâmetro para quaisquer correções na quantidade de água adicionada ao concreto no momento da fabricação das peças.

6.1.2 Agregados Graúdos

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos nos ensaios do teor de umidade total e análise da massa específica para o pedrisco natural e reciclado.

Tabela 8 - Demais propriedades dos agregados graúdos.

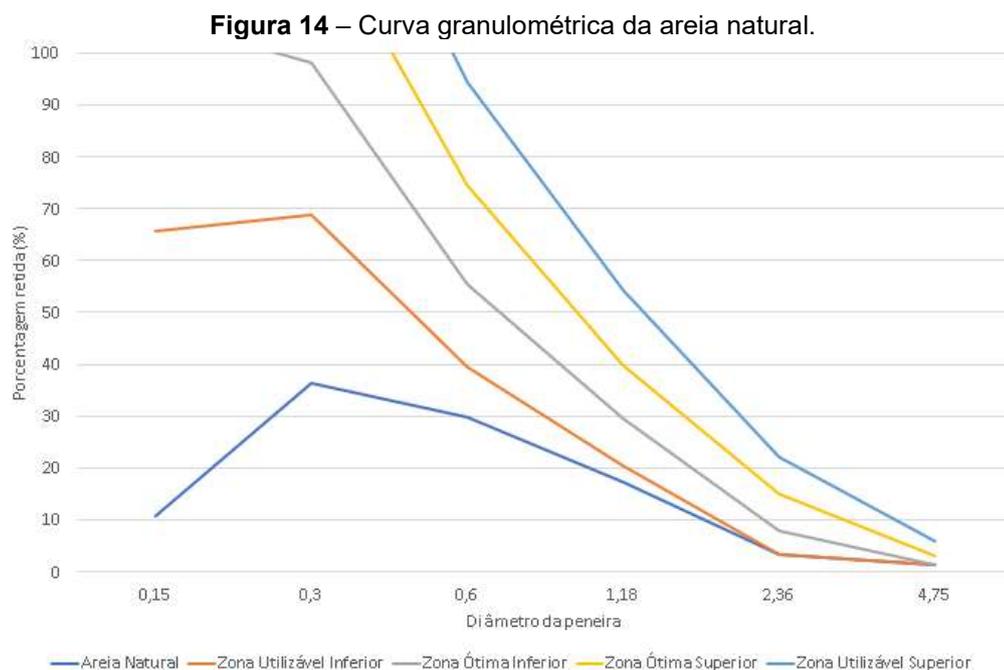
Norma ABNT	Propriedade avaliada	Pedrisco natural	Pedrisco reciclado
NBR NM	Teor de umidade (%)	1,18	1,82
53	Massa específica (kg/m ³)	1566	1214

Fonte: Os autores.

6.2 Análise Granulométrica

6.2.1 Agregados Miúdos

A curva granulométrica obtida para a areia natural, analisada juntamente com os limites da distribuição granulométrica propostos pela ABNT NBR 7211 (2009), são apresentados pela Figura 14.



Fonte: Os autores.

Os demais dados do ensaio de granulometria, realizado com base na ABNT NBR 248 (2003), estão contidos na Tabela 09.

Tabela 9 - Granulometria areia natural.

Diâmetro da peneira	Massa retida (gramas)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)
4,75mm	6	1,2	1,2
2,36mm	17	3,4	4,6
1,18mm	86	17,2	21,8
0,60mm	149	29,8	51,6
0,30mm	182	36,4	88
0,15mm	54	10,8	98,8
Fundo	6	1,2	100

Fonte: Os autores.

Segundo à ABNT NBR 7211 (2009), os limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo são descritos conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Limites da distribuição granulométrica.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
600	15	35	55	70
300	50	65	85	95
150	85	90	95	100

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

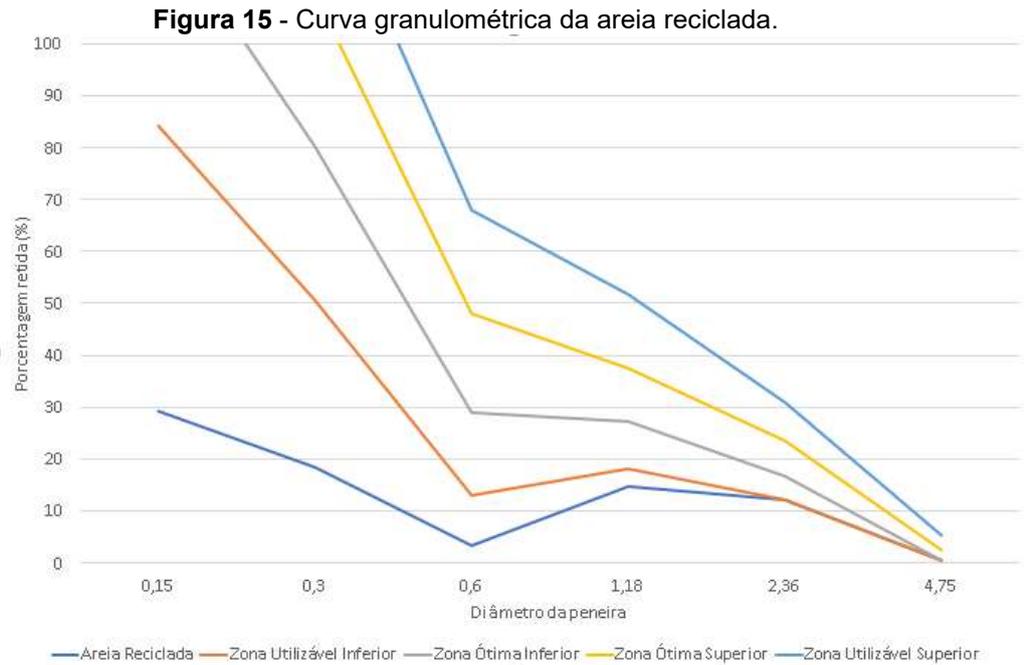
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: NBR 7211:2009 página 05.

Desta forma podemos afirmar que a areia natural utilizada no trabalho não se enquadrou dentro das zonas superiores e inferiores, ficando abaixo da zona ótima inferior.

Para a areia natural utilizada neste trabalho, a curva granulométrica obtida está contida na Figura 15, e os demais resultados da análise, com base na ABNT NBR 248 (2003), são apresentados pela Tabela 11.



Fonte: Os autores.

Tabela 11 - Granulometria areia reciclada.

Diâmetro da peneira (mm)	Massa retida (gramas)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)
4,75mm	3	0,6	0,6
2,36mm	61	12,2	12,8
1,18mm	78	15,6	28,4
0,60mm	74	14,8	43,2
0,30mm	92	18,4	61,6
0,15mm	146	29,2	90,8
Fundo	46	9,2	100

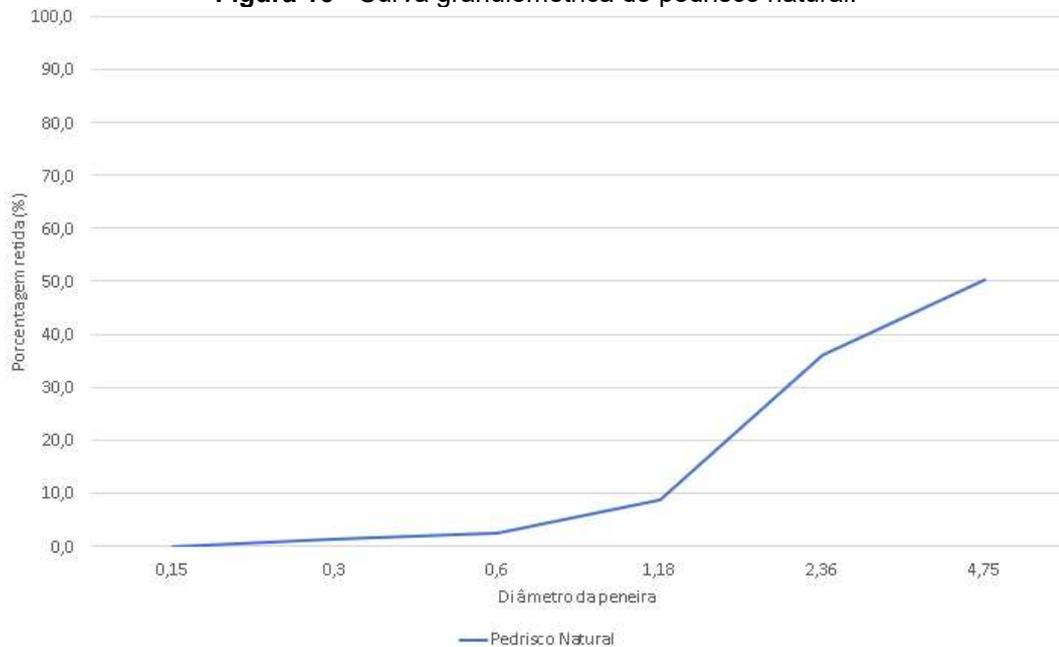
Fonte: Os autores.

Desta forma podemos informar que a areia reciclada utilizada no trabalho não se enquadrou dentro das zonas superiores e inferiores, ficando abaixo da zona ótima inferior.

6.2.2 Agregados Graúdos

A curva granulométrica obtida para os agregados graúdos é apresentada a seguir conforme Figura 16 e 17. Os demais dados do ensaio de granulometria, realizado com base na ABNT NBR 248 (2003), estão contidos nas Tabelas 12 e 13.

Figura 16 - Curva granulométrica do pedrisco natural.

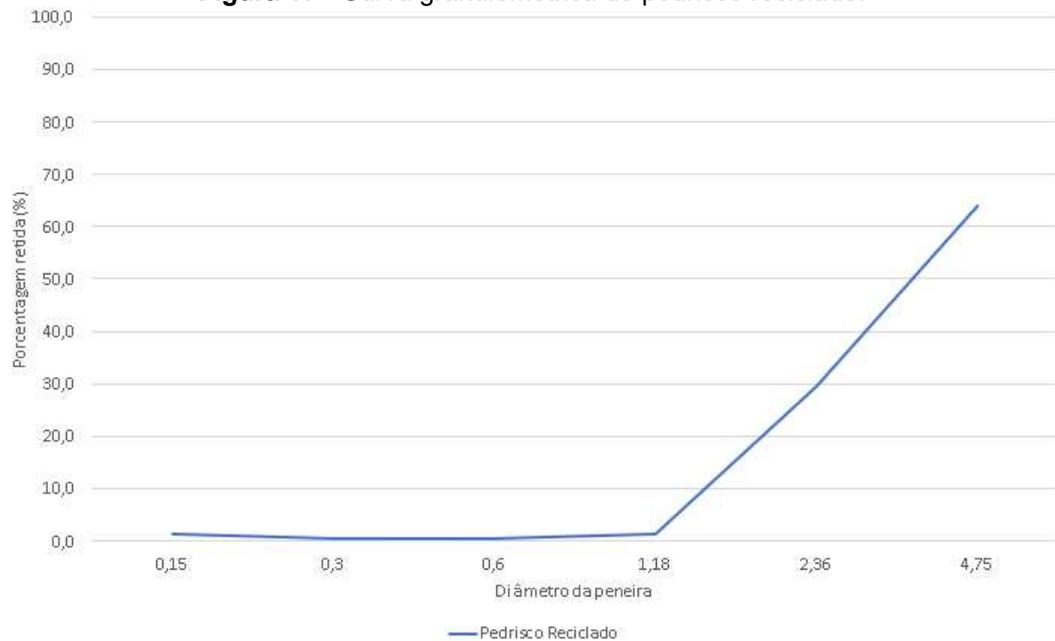


Fonte: Os autores.

Tabela 12 - Granulometria pedrisco natural.

Diâmetro da peneira	Massa retida (gramas)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)
4,75mm	252	50,4	50,4
2,36mm	180	36	86,4
1,18mm	44	8,8	95,2
0,60mm	12	2,4	97,6
0,30mm	6	1,2	98,8
0,15mm	0	0	98,8
Fundo	6	1,2	100

Fonte: Os autores.

Figura 17 - Curva granulométrica do pedrisco reciclado.

Fonte: Os autores.

Tabela 13 - Granulometria pedrisco reciclado.

Diâmetro da Peneira	Massa retida (gramas)	Massa retida (%)	Massa acumulada (%)
4,75mm	320	64	64
2,36mm	147	29,4	93,4
1,18mm	7	1,4	94,8
0,60mm	2	0,4	95,2
0,30mm	3	0,6	95,8
0,15mm	7	1,4	97,2
Fundo	14	2,8	100

Fonte: Os autores.

6.3 Análise de Inspeção Visual

Conforme o item 5.7 da ABNT NBR 9781 (2013), o teste de inspeção visual tem como finalidade verificar se as peças apresentavam arestas regulares e ângulos retos, livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação.

Os testes foram realizados individualmente em todos os 30 corpos de prova, sendo que foram confeccionados 06 corpos de prova para cada porcentagem

diferente utilizada de agregado reciclado (padrão 0%, 25%, 50%, 75%, e 100%) e verificou-se que independentemente de cada porcentagem, não houve alterações nas arestas de alguns corpos de prova (Figura 18).

Figura 18 - Análise visual dos corpos de prova.



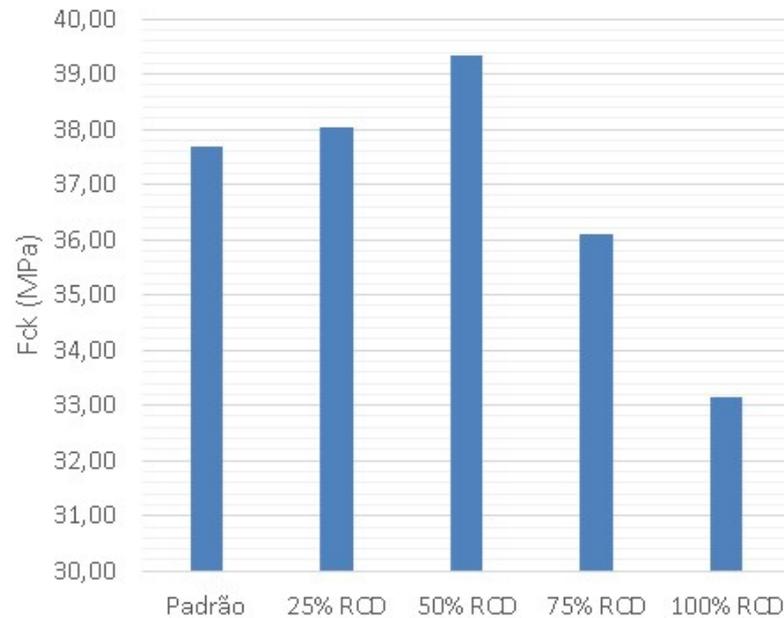
Fonte: Os autores.

6.4 Análise de Determinação da Resistência à Compressão

O teste de resistência característica à compressão, conforme o item 5.4 da ABNT NBR 9781 (2013), tem como finalidade verificar se as peças resistem à aplicação de uma determinada carga exercida sobre sua superfície, seguindo as instruções do anexo A e da Tabela 2, a qual determina que para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha devem suportar uma resistência mínima de 35 MPa e tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados devem apresentar uma resistência mínima de 50 MPa, ambas aos 28 dias.

No caso do rompimento antes dos 28 dias, a resistência deverá ser no mínimo de 80% do f_{pk} , todos os 30 corpos de prova foram submetidos ao teste de resistência à compressão com 28 dias.

Os testes foram realizados individualmente em todos os 30 corpos de prova e os resultados médios obtidos nos testes são apresentados na Tabela 14 e Figura 19.

Figura 19 - Resistência média a compressão de acordo com cada traço.

Fonte: Os autores.

Tabela 14 - Valores médios de resistência à compressão de acordo com cada traço.

Corpo de Prova n°	Resistência à compressão (MPa)				
	Padrão	25% RCD	50% RCD	75% RCD	100% RCD
1	34,80	38,96	37,81	36,32	32,25
2	39,92	34,28	37,95	32,46	34,69
3	38,06	35,89	39,11	39,63	31,91
4	39,94	40,95	47,77	34,30	36,32
5	37,32	42,58	36,50	36,76	34,99
6	36,07	35,47	36,96	37,05	28,65
Média amostral	37,69	38,02	39,35	36,09	33,14

Fonte: Os autores.

De acordo com os resultados apresentados, verificou-se que as médias de resistência à compressão para cada porcentagem de agregado (gráudo e/ou miúdo) na mistura do concreto obtiveram variações de acordo com a porcentagem de substituição.

Comparando os resultados obtidos, constatou-se que apenas a substituição em 100% dos agregados, dos resultados obtidos não atingiu o valor mínimo de resistência à compressão conforme recomendado pela ABNT NBR 9781 (2013), demonstrado na Tabela 14.

Se faz nítida a verificação de que a percentagem de substituição mais viável é a de 50%, pois apresentou valores sem grande variação e de maior resistência, presumindo-se que para utilização destes materiais em específico, o ideal é trabalhar meio a meio em relação aos agregados reciclados e naturais.

Desta forma, os pavers confeccionados com as porcentagens de agregado graúdo e miúdo utilizado não apresentaram problemas, sendo recomendada sua comercialização apenas para o tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, com exceção da substituição em 100% dos agregados.

Reforçando veracidade dos resultados obtidos temos como parâmetro a dissertação: “Concreto com agregados graúdos reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados”, entregue a Escola de Engenharia de São Carlos na Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre do mestrando Alexandre Marques Buttler (2003).

Através da Tabela 15 da dissertação acima descrita, pode-se notar a semelhança nos resultados ao teste de resistência à compressão, o qual tem seu pico com 50% de substituição do agregado por agregado reciclado.

Tabela 15 – Resultados obtidos para os blocos de concreto

Dosagem	Resistência à compressão (MPa)
Referência	16,2
25% reciclado	15,9
50% reciclado	16,7
75% reciclado	15,0
100% reciclado	11,8

Fonte: Buttler (2003).

6.5 Análise da Determinação de Absorção de Água

A finalidade do teste de absorção de água é analisar qual será o comportamento dos pavers quando expostas às condições climáticas de precipitação, lavagem ou qualquer outro fator que os submeta à condição por saturação por água.

De acordo com o item 5.5 da NBR 9781:2013, as amostras de peças de concreto devem apresentar absorção de água com valor médio ou igual a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7%.

Todos os 30 corpos de prova foram pesados e posteriormente mergulhados em um tanque com água por um período de 28 dias. Após este período os corpos de prova foram retirados e pesados novamente para verificar sua taxa de absorção.

Os testes foram realizados individualmente em todos os corpos de prova individualmente e os resultados médios obtidos nos testes são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores médios de absorção de água de acordo com cada traço.

Corpo de prova n°	Padrão	Absorção (%)			
		25% RCD	50% RCD	75% RCD	100% RCD
1	1,68	2,15	2,21	2,17	2,43
2	1,62	1,98	2,19	2,48	2,11
3	1,90	2,27	2,07	2,21	2,22
4	1,74	1,85	2,09	2,11	2,36
5	1,72	1,94	2,19	2,42	2,67
6	2,04	1,81	2,09	2,44	2,06
Média amostral	1,78	2,00	2,14	2,31	2,31

Fonte: Os autores.

De acordo com os resultados apresentados, verificou-se que as médias de absorção de água para cada porcentagem de agregado (graúdo e/ou miúdo) na mistura do concreto não obtiveram diferenças significativas.

Comparando os resultados obtidos, constatou-se que todos se comportaram de forma semelhante, sendo que para 75 e 100%, apresentou-se a maior absorção de água, indicando uma maior saturação. Demonstrando que a absorção há uma tendência de aumentar conforme maior quantidade de agregado reciclado, sendo

que nenhum dos resultados atingiram a porcentagem máxima de absorção de água recomendada pela ABNT NBR 9781 (2013), a qual é de 7%.

7 CONCLUSÃO

Em relação à inspeção visual, todos os corpos de prova dos tratamentos avaliados estavam de acordo com a norma ABNT NBR 9781 (2013), não apresentando deformações, rebarbas ou esfarelamento. Também não houve variação em suas dimensões, as arestas permaneceram regulares e os ângulos retos.

Quanto ao teste de resistência à compressão, os resultados indicaram que dependente do tratamento avaliado, os corpos de prova podem ou não apresentar conformidade com a norma, sendo que aqueles os quais tiveram uma substituição de 50% de seus agregados naturais por reciclados, apresentaram os resultados mais satisfatórios. Porém, não têm a resistência apropriada para a pavimentação intertravada de tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

Já no teste de absorção de água verificou-se que, conforme o aumento do percentual de adição de resíduo reciclado, a porcentagem de absorção de água torna-se maior, sendo que os resultados obtidos atendem o valor recomendado pela norma, não afetando assim suas propriedades estruturais, sem prejudicar assim os resultados posteriores.

O sucesso obtido nos resultados justifica a viabilidade de uma alternativa a destinação da imensa massa de resíduos construtivos. Dessa forma, a reutilização dos materiais deve ser estudada ainda mais a fundo, pois é possível alavancar o retorno econômico e ambiental nesse processo. A empresa à qual nos forneceu o material reciclado, vale ressaltar, é uma empresa com pouco maquinário e investimento na área, se faz claro portanto, que pensando em uma empresa com melhor infraestrutura, os resultados seriam ainda melhores.

Através dos resultados satisfatórios obtidos nos testes de resistência à compressão, a incorporação de resíduos de construção e demolição em pavimento intertravado, pode ser destacada por ser uma alternativa para destinação adequada deste resíduo.

Como sugestão para estudos futuros, um fator que deveria ser observado, é o tempo de cura dos corpos de prova para os testes recomendados pela norma ABNT NBR 5738 (2015). Além disso, pode-se avaliar a utilização de outras proporções de matéria prima na composição da massa cimentícia, ou avaliar a influência da granulometria nas propriedades dos pavimentos, no intuito de obterem-se valores ainda melhores, podendo atender também ao tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBATE, V. Desmoldante: um para cada tipo de forma. *Téchne*, n.70, jan/2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017.
- ANGULO, Sérgio Cirelli - Produção de concretos de agregados reciclados. 1998. 84f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual de Londrina.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT – NBR 12655 (2015).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 67 (1998).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 30 (2001).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 52 (2003).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 53 (2006).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR NM 248 (2003).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7211 (2009).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 9781 (2013).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 5738 (2015).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO - ABRECON. <https://abrecon.org.br/brasileiro-produz-por-ano-meia-tonelada-de-residuos-de-construcao-civil/#:~:text=Hewerton%20Bartoli%2C%20vice%2Dpresidente%20da,n%C3%A3o%20reciclar%20materiais%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o.&text=Elas%20trabalham%20com%20planos%20de%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20e%20separam%20materiais>. Acesso em 16 de abril de 2020.

BUTTLER, A. M. Concreto com agregados graúdos e reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D. Mechanical properties modeling of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, n. 24, 2010, pp 421–430.

CABRAL A. E. B. SCHALCH V. DAL MOLIN D. C. C. RIBEIRO J. L. D. RAVINDRARAJAH R. S., *Cerâmica* 55, 336 (2009) 448.

CAMARA BRASILEIRA DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO, CBIC – COMISSÃO DA INDUSTRIA IMOBILIÁRIA, CII. Disponível em: <https://cbic.org.br/industria imobiliaria/2019/11/21/construcao-gera-124-mil-empregos-em-2019-e-emenda-setimo-mes-positivo-2/>. Acesso em 18 de maio de 2020.

CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. (Org.). *Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção – Projeto Entulho Bom*. Salvador: EDUFBA, 2001.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). Resolução no 307, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Diário Oficial da União, 17/07/2002.

ETXEBERRIA, M.; VÁZQUEZ, E.; MARÍ, A. R.; BIZINOTTO B. M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, n. 37, 2007, pp 735–742.

FACULDADES INTEGRADAS DE FERNANDÓPOLIS – FIFE. Avenida Theotonio Vilela, s/n - Campus Universitário, Fernandópolis/SP.

FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS, FIEMG, <https://www7.fiemg.com.br/fiemg/noticias/detalhe/iv-seminario-da-construcao-civil-sera-realizado-na-fiemg->.

FERNANDES, I. *Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade*. 7 ed. Ribeirão Preto, Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda., 2016. 200p.

FERNANDES A. V. B. AMORIM J. R. R. *Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas Unit 2*, 1 (2014) 79.

FERREIRA, A. R. L.; MOREIRA, H. C. Análise Crítica da Gestão de Resíduos de Construção Civil: Estudo de caso do Município do Rio de Janeiro. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017420.pdf>. Acesso em 20 de maio 2020.

FERREIRA, J. A.; ANJOS, L. A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados a gestão dos resíduos sólidos municipais. Cad. Saúde Pública, 2001, 17(3): 689-696.

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL DE FERNANDÓPOLIS – FEF. Avenida Theotônio Vilela, s/n - Campus Universitário, Fernandópolis/SP.

GÜNTHER, W.M.R. Saúde Ambiental comprometida pelos resíduos sólidos. In: Seminário Sobre Resíduos Sólidos RESID'99. São Paulo, 1999, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27007-pib-cresce-1-1-e-fecha-2019-em-r-7-3-trilhoes>. Acesso em 19 de maio de 2020.

JACICAL DISTRIBUIDORA JALES DE CIMENTO E CAL LTDA – JACICAL – Rua Silvio Alves Balbino, nº 525, Parque Industrial II, Jales/SP.

JLS AREAL SCROCCARO. Disponível em: <http://www.arealjls.com.br/?portfolio=brita-0-pedrisco>. Acesso em 23 de junho de 2020.

JOHN, V. M. Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KOU, S. C.; POON, C. S.; ETXEBERRIA, M. Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete. Cement & Concrete Composites, n. 33, 2011, pp 286-291.

KWAN, W. H.; RAMLI, M.; KAM, K. J.; SULIEMAN, M. Z. Influence of the amount of recycled coarse aggregates in concrete design and durability properties. Construction and Building Materials, n. 26, 2012, pp 565-573.

- LEVY, S. M.; Helene, P.R.L. Reciclagem de entulhos na construção civil e a solução política e ecologicamente correta. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologias de Argamassa, 1º, Goiânia, Brasil. agosto 1995 Anais. Goiânia, PP 315-325.
- LOVATO P. S.; POSSAN, E.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, Â. B.; RIBEIRO, J. L. D. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, n. 26, 2012, pp 437–447.
- MARMITTI, Brenno A.; BEZ, A.; DIDONE, J. A.; PACHECO, T. L.; VALDAMERI, C. Z. Estudo comparativo de métodos para dosagem de concreto. Congresso técnico científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016. Paraná setembro de 2016.
- MEJAN & MEJAN LTDA - MEJAN AMBIENTAL – Rua José Silvestre Riva, nº 625, Distrito Industrial V, Votuporanga/SP.
- PAVIMENTAÇÃO INTERTRAVADA - INTERPAVI. Conteúdo Técnico. Disponível em: <<http://www.interpavi.com.br/brazil/tecnico.html> >. Acesso em: 23 março de 2020.
- PEREIRA, E.; MEDEIROS, M. H. F.; LEVY, S. M. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 3, jul./set. 2012, p. 125-134.
- PIAIA, J.C.Z.; ROCHA, J.C.; CHERIAF, M.; MSTELIER, N.L. Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: Experimental results and numerical simulation. *Building and Environment*, v. 61, p. 18-26, 2013.
- POON, C. S.; CHAN, D. Paving Blocks Made With Recycled Concrete Aggregate and Crushed Clay Bricks. *Construction and Building Materials*, v. 20, n. 5, jun. 2006, p. 569-577.
- QUEBAUD, M. R.; ZAHARIEVA, R.; WIRQUIN, E.; BUYLE-BODIN, F. Influência do teor em agregados provenientes da reciclagem de materiais de demolição (agregados reciclados) na permeabilidade do concreto. 41º Congresso Brasileiro do Concreto. Salvador, Brasil. 1999. 1 CD-ROM.
- RODRIGUES, P. F. Parâmetros de dosagem racional do concreto. 34ª Reunião de técnicos da indústria do cimento. 1983. Anais.
- SAMIELE, D. Aproveitamento de resíduos de concreto na confecção de peças para pavimento intertravado de concreto. 2010. 119 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

SJÖSTRÖM, C., 1992. Durability and Sustainable use of building materials. London, 1992. J.W.Llewellyn & H.Davies Ed. – London.

TABSH, S. W.; ABDELFATAH, A. S. Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. Construction and Building Materials, n. 23, 2009, pp 1163–1167.

VIEIRA, A. P. N. B. Viabilidade técnica da fabricação de compósito utilizando fibra de pneu na fabricação de blocos intertravado. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

VOTORANTIM CIMENTOS. Disponível em:
<https://www.votorantimcimentos.com.br/produtos/cimentos-votoran/obras-especiais-industrial-meios-agressivos/>. Acesso em 23 de junho de 2020.