

FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

ROGÉRIO GIACOMIN JÚNIOR
VITOR DOS SANTOS GASPARINI

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
CONVENCIONAL COM O CONCRETO RECICLADO**

ARACRUZ
2018

ROGÉRIO GIACOMIN JÚNIOR
VITOR DOS SANTOS GASPARINI

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
CONVENCIONAL COM O CONCRETO RECICLADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz como requisito
parcial para obtenção do título de Graduação em
Engenharia Civil.

Orientador: Evandro José Pinto de Abreu

ARACRUZ

2018

**ROGÉRIO GIACOMIN JÚNIOR
VITOR DOS SANTOS GASPARINI**

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO
CONVENCIONAL COM O CONCRETO RECICLADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria do Curso de Engenharia Civil das
Faculdades Integradas de Aracruz como requisito
parcial para obtenção do título de Graduação em
Engenharia Civil.

Aprovado em _____ de novembro de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Evandro José Pinto de Abreu
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador

Prof^a. M.Sc. Kamila Zamborline Waldetario
Faculdades Integradas de Aracruz

Prof. M.Sc. Harlley Davidson Gomes
Faculdades Integradas de Aracruz

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Declaro, para fins de pesquisa acadêmica, didática e técnico-científica, que este Trabalho de Conclusão de Curso pode ser parcialmente utilizado, desde que se faça referência à fonte e ao autor.

Aracruz, 22 de novembro de 2018.

Rogério Giacomini Júnior

Vitor dos Santos Gasparini

“Quando tudo parecer dar errado em sua vida, lembre-se
o avião decola contra o vento, e não a favor dele.”

Henry Ford

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter nos dado saúde e força para superar todas as dificuldades e chegar até aqui.

Aos nossos orientadores, a professora Julimara Zampa Bitti Blank, que no início deu suporte, no pouco tempo de trabalho, pelo seu incentivo e insistência e ao professor Evandro José Pinto de Abreu, por nos ter ajudado nas últimas etapas de construção e elaboração deste trabalho.

A todos os professores, amigos e funcionários do curso de especialização em ensino, pelas contribuições e trocas de experiências que tivemos durante o curso.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de nossa formação, o nosso muito obrigado.

À inspiração do universo, pelo dom da vida e por ter nos dado força para superar todas as barreiras.

RESUMO

O Ramo da Construção Civil consome durante o seu processo grandes quantidades de materiais, o que acaba gerando em grandes escalas os Resíduos da Construção e Demolição – RCD. Devido à preocupação com o meio ambiente, fez com que a construção civil adotasse outras técnicas e raciocínios que de certa forma reduzissem os danos causados, e junto com outros órgãos possa preservar o meio ambiente. O objetivo do seguinte trabalho foi a reutilização do RCD, em substituição aos agregados que compõem o concreto, tanto a brita quanto a areia, e realizar uma comparação entre o traço de concreto convencional com traços de concreto com agregados reciclados. Basicamente todo o RCD, é possível ser reciclado, porém, necessita-se realizar a separação dos materiais indesejáveis e perigosos à saúde (fibrocimento contendo fibras de amianto e madeira tratada com pesticidas) como indica a Resolução nº 307 da CONAMA – Conselho Nacional do meio ambiente, como por exemplo. O presente estudo procurou avaliar a possibilidade da utilização do RCD, como agregado para o concreto de referência, através de análises laboratoriais. O agregado foi utilizado na sua fração miúda e graúda, em percentuais fixados em 0%, 35% e 55% de substituição. Ao longo da pesquisa foram obtidos resultados satisfatórios em vista que, a resistência aos 28 dias do concreto com agregados reciclados atingiu a resistência mínima de acordo com algumas normas técnicas sobre concreto.

PALAVRAS CHAVES: RCD; Construção Civil; Concreto; Meio Ambiente; reciclado.

ABSTRACT

The Construction Sector consumes large quantities of materials during its process, which generates scales of Construction and Demolition (RCD) on a large scale. Due to the concern for the environment, it has made the civil construction adopt other techniques and reasoning that in a way reduce the damage caused, and along with other organs can preserve the environment. The objective of this work was to reuse the RCD, replacing the aggregates composing the concrete, both sand and gravel, and to compare the traces of conventional concrete with traces of concrete with recycled aggregates. Basically all RCD can be recycled; however, it is necessary to carry out the separation of undesirable and hazardous materials to health (fiber cement containing asbestos fibers and wood treated with pesticides) as indicated in Resolution No. 307 of CONAMA - National Council of the Environment, for example. The present study sought to evaluate the possibility of using RCD as an aggregate for the reference concrete through laboratory analysis. The aggregate was used in its small and large fraction, in percentages set at 0%, 35% and 55% of substitution. During the research, satisfactory results were obtained considering that the resistance to the 28 days of the concrete with recycled aggregates reached the minimum resistance according to some technical norms on concrete.

KEYWORDS: RCD; Construction; Concrete; Environment; recycled.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES;

Figura 1 – Processo do concreto.....	13
Figura 2 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.....	15
Figura 3 – Ensaio de tração direta.....	17
Figura 4 – Ensaio de tração por compressão diametral.....	17
Figura 5 – Ensaio de tração na flexão.....	18
Figura 6 – Diagramas de esforços solicitantes (ensaio de tração na flexão).....	18
Figura 7 – Módulo de elasticidade ou de deformação longitudinal.....	20
Figura 8 – Módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}).....	21
Figura 9 – Deformações longitudinais e transversais.....	22
Figura 10 – Bloco de Concreto Permeável.....	23
Figura 11 – Aplicação de um pavimento com bloco de concreto permeável.....	24
Figura 12 – Partes do Processo do trabalho.....	25
Figura 13 – Materiais depois do ensaio de peneiramento.....	27
Figura 14 – Misturador Mecânico (betoneira).....	28
Figura 15 – Máquina para o ensaio de compressão axial.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição dos traços e dosagens.....	27
Quadro 2 – Resultados dos Abatimentos do Tronco de Cone.....	29
Quadro 3 – Valores de resistência à Compressão simples de 7,14 e 28 Dias.....	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise das Resistências à Compressão de 7,14, e 28 dias do traço Tipo 1, 2, e 3.....	32
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento Portland

EESC – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

ISO – Organização Internacional de Normalização

MERCOSUL – Mercado Comum do Sul

NBR – Norma Brasileira aprovada pela ABNT

NM – Norma MERCOSUL

ONU – Organização das Nações Unidas

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

PIB – Produto Interno Bruto

LISTA DE SÍMBOLOS

fck	Resistência Característica do Concreto à Compressão
MPa	Mega Pascal
N	Newton
M	Metro
Cm	Centímetro
Kg	Quilograma
m ³	Metros Cúbicos
fc	Resistência à Compressão Simples
ν	Coeficiente de <i>Poisson</i>
fct	Resistência do Concreto à Tração Direta
Ecs	Módulo de Elasticidade Secante
Eci	Módulo de Deformação Tangente Inicial
fctk	Resistência Característica do Concreto à Tração
fctm	Valor Médio da Resistência à Tração
fctk,inf	Valor inferior da Resistência Característica
fctk,sup	Valor Superior da Resistência Característica
fcm	Resistência Média do Concreto à Compressão
σ	Tensão

ε Deformação Específica

E Módulo de Elasticidade

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Determinação da Resistência Característica.....	15
Equação 2 – Determinação da Resistência Média do Concreto à Compressão.....	19
Equação 3 – Determinação Valor inferior da Resistência Característica.....	19
Equação 4 – Determinação Valor Superior da Resistência Característica.....	19
Equação 5 – Determinação Módulo de Deformação Tangente Inicial.....	21
Equação 6 – Determinação Módulo de Elasticidade Secante.....	22
Equação 7 – Determinação da Resistência à Compressão.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2.OBJETIVOS.....	10
2.1 GERAL.....	10
2.2 ESPECÍFICOS	10
3 JUSTIFICATIVA.....	11
4.REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL – RCD.....	12
4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	13
4.3 CONCRETO CONVENCIONAL	13
4.4 GRANULAMETRIA DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS	14
4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO.....	14
4.5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	14
4.5.2RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	16
4.5.3MÓDULO DE ELASTICIDADE	20
4.6 APLICAÇÕES DO CONCRETO RECICLADO	23
5 METODOLOGIA	25
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	32
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é a área que mais gera resíduos na sociedade e também que se utiliza dos recursos naturais para o seu processo.

No contexto atual, a crescente demanda do setor, fez com que a mesma gerasse um acúmulo excessivo de resíduos de materiais provenientes de restos de obras ou demolições. Devido a esta questão, surgiu a necessidade de se encontrar uma destinação correta e sustentável para estes resíduos.

Para que ocorra a redução desses resíduos, deve-se ampliar a reciclagem e explorar oportunidades para reutilizar esses resíduos em obras, evitando que esses materiais excedentes virem lixo.

Portanto, a sustentabilidade está cada vez mais aparecendo no mercado da construção civil, com a intenção de realizar os processos de modo economicamente viável e ecologicamente correto.

A técnica sustentável a ser analisada neste trabalho, é a prática da adição de resíduos da construção e demolição – RCD, no concreto e analisar a sua resistência a compressão.

Para poder realizar melhor esta análise, será abordada uma pesquisa exploratória sobre algumas normas do concreto e uma pesquisa experimental, na qual, serão realizados vários traços de concreto com diferentes níveis de adição de RCD como agregados.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Comparar as resistências à compressão do traço entre o concreto convencional e concreto reciclado.

2.2 ESPECÍFICOS

- Pesquisar normas referentes ao concreto;
- Caracterizar o RCD de acordo com as normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Estudar um traço convencional, adaptado ao traço com o RCD em substituição à areia e à brita;
- Confeccionar os traços de concreto convencional e reciclado;
- Realizar os ensaios de Compressão;
- Romper os corpos de prova com 7,14 e 28 dias;
- Comparar os resultados;
- Apresentar aplicações sobre o concreto reciclado.

3 JUSTIFICATIVA

O ramo da construção civil é o ramo que mais gera resíduos no meio urbano, porém muitas construtoras estudam aplicar a sustentabilidade na construção civil por meio de várias técnicas construtivas cada vez mais sustentáveis e fazendo o uso de materiais e coeficientes.

Além de gerar grandes quantidades de resíduos, também é o maior responsável pelo consumo de recursos naturais, o que pode acontecer a possibilidade do esgotamento do mesmo.

Já existem várias técnicas sustentáveis aplicáveis nas obras, por exemplo, o telhado verde, tinta ecológica, reutilizar a água, aproveitar a iluminação e ventilação natural, sistema de aquecimento solar, entre outras técnicas já criadas para a construção civil sustentável.

Por esses motivos, este trabalho pretende fazer uma revisão bibliográfica acerca dos resíduos de construção civil e demolição (RCD), focando nas questões de reciclagem e reutilização destes resíduos através de ensaios laboratoriais.

Trata-se de um assunto relevante, pois o processo de reutilização torna-o ecologicamente correto, pois é feita a devida separação de resíduos para que cada um receba a destinação correta, contribuindo para o meio ambiente.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL – RCD

Segundo a ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, RCD é todo resíduo gerado no processo construtivo de reforma, escavação ou demolição.

A geração de resíduos sólidos no Brasil cresceu mais de 26% na última década (2005-2015), porém a gestão dos materiais descartados continua apresentando grande deficiência, e 76,5 milhões de brasileiros (mais de 1/3 da população) ainda sofrem com a destinação inadequada dos resíduos, em um país onde 30 milhões de toneladas foram depositadas em lixões ou aterros controlados, que do ponto de vista técnico apresentam os mesmos problemas dos lixões, já que não contemplam o conjunto de medidas necessárias para proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

O estudo da ABRELPE também mostrou que, em 2015, cada brasileiro gerou cerca de 391 kg de RSU, o que representa um volume similar e, em alguns casos, até maior do que aquele constatado em países mais desenvolvidos e com renda (PIB per capita) mais alta do que o Brasil.

De acordo com a entidade, a gestão adequada de resíduos sólidos é de vital importância para garantia de um futuro saudável e com alguma qualidade de vida, tendo sido incluída como uma das metas da nova agenda global dos 193 Estados-membros da ONU, que estabeleceram, por unanimidade, o compromisso de reduzir substancialmente, até 2030, a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os RCD são classificados de acordo com a resolução nº 307 do CONAMA, órgão que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente. Nessa Resolução os resíduos são classificados em quatro classes:

- **Classe A** - Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregado de construções reforma e demolição de pavimentos, de obras de infraestrutura (incluindo o solo), de edificações (tijolos, argamassa, concreto, etc.) e de fabricação e/ou de pré-moldados de concreto produzidos em obras;
- **Classe B** - resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, metais e madeiras;
- **Classe C** – resíduos cuja reciclagem/recuperação não foram desenvolvidas tecnologias economicamente viáveis, como o gesso;
- **Classe D** – Resíduos perigosos, como tintas, solventes e óleos, e oriundos de obras em clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

4.3 CONCRETO CONVENCIONAL

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, que é basicamente a mistura de água, cimento, pedra e areia, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Processo do concreto



Fonte: ConstruFacilRJ (2018)

Os traços são representados geralmente em volumes pela maior praticidade, embora ofereça menor precisão. Para expressar as proporções dos ingredientes que compõem o traço, a prática comum é estabelecer uma razão entre os materiais. Isso significa que um traço 1:2: 4 consiste em uma parte de cimento, duas partes de agregado miúdo (areia) e quatro partes de agregado graúdo (pedra).

4.4 GRANULAMETRIA DOS AGREGADOS MÍUDOS E GRAÚDOS

Segundo a NBR 7211 - Agregados para concreto – Especificação, os agregados graúdos são cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Já os agregados miúdos, 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 realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

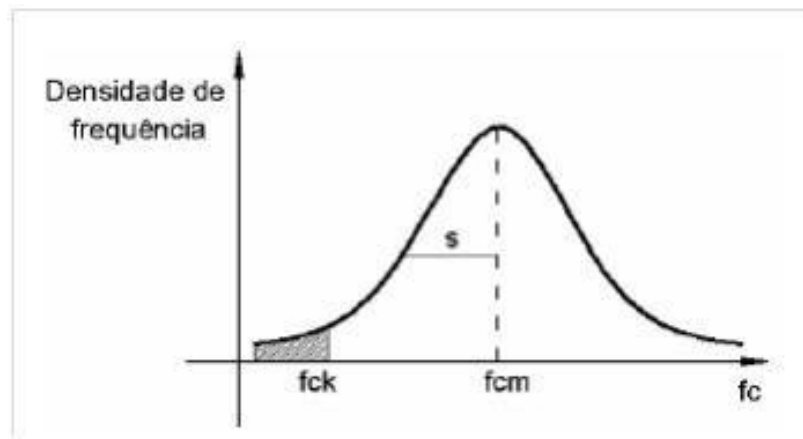
As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade.

4.5.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão simples, denominada F_c é a característica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

Após ensaio de um número muito grande de corpos-de-prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de F_c versus a quantidade de corpos-de-prova relativos a determinado valor de F_c , também denominada densidade de frequência. A curva encontrada denomina-se Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão, como pode ser observado na figura 2.

Figura 2: Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão



Fonte: NBR 5739

Na curva de Gauss encontram-se dois valores de fundamental importância: resistência média do concreto à compressão, F_{cm} , e resistência característica do concreto à compressão, F_{ck} .

O valor F_{cm} é a média aritmética dos valores de F_c para o conjunto de corpos-de-prova ensaiados, e é utilizado na determinação da resistência característica, F_{ck} , por meio da fórmula:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s \quad (\text{Equação 1})$$

O desvio-padrão s corresponde à distância entre a abscissa de F_{cm} e a do ponto de inflexão da curva (ponto em que ela muda de concavidade). O valor 1,65

corresponde à quantia de 5%, ou seja, apenas 5% dos corpos-de-prova possuem $F_c < F_{ck}$, ou, ainda, 95% dos corpos-de-prova possuem $F_c \geq F_{ck}$.

Portanto, pode-se definir F_{ck} como sendo o valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado, em ensaios de corpos-de-prova de um determinado lote de concreto.

4.5.2 Resistência à tração

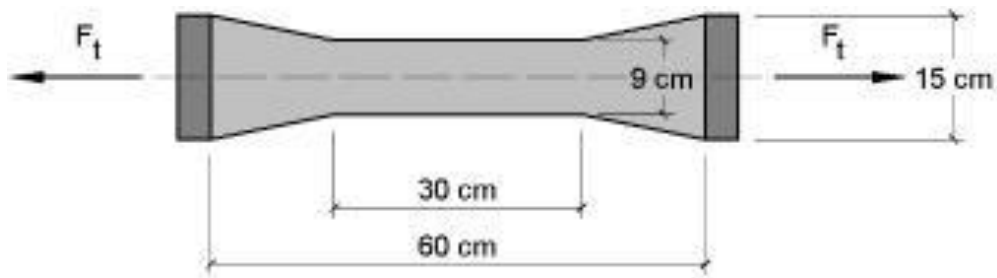
Os conceitos relativos à resistência do concreto à tração direta, F_{ct} , são análogos aos expostos no item anterior, para a resistência à compressão. Portanto, tem-se a resistência média do concreto à tração, F_{ctm} , valor obtido da média aritmética dos resultados, e a resistência característica do concreto à tração, F_{ctk} ou simplesmente F_{tk} , valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado pelos resultados de um lote de concreto.

Existem três tipos de ensaios de tração: tração direta, compressão diametral e tração na flexão.

a) Ensaio de tração direta

Neste ensaio, considerado o de referência, a resistência à tração direta, F_{ct} , é determinada aplicando-se tração axial, até a ruptura, em corpos-de-prova de concreto simples (Figura 3). A seção central é retangular, medindo 9cm por 15cm, e as extremidades são quadradas, com 15cm de lado.

Figura 3: Ensaio de tração direta

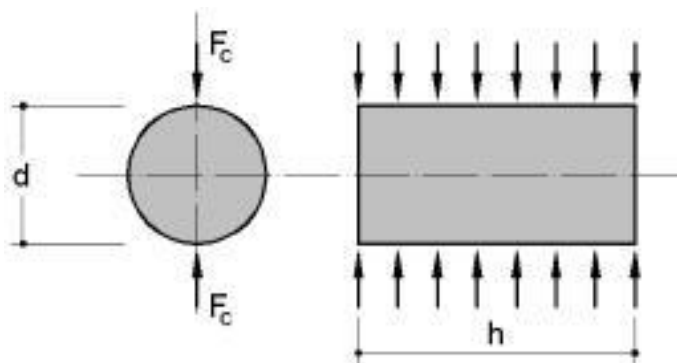


Fonte: Apostila EESC USP Libanio

b) Ensaio de tração na compressão diametral (*splitting test*)

Também conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, desenvolvido por Lobo Carneiro, no ano de 1943, e o mais utilizado. Para a sua realização, um corpo-de-prova cilíndrico de 15 cm por 30 cm é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da prensa (Figura 4), sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento).

Figura 4: Ensaio de tração por compressão diametral



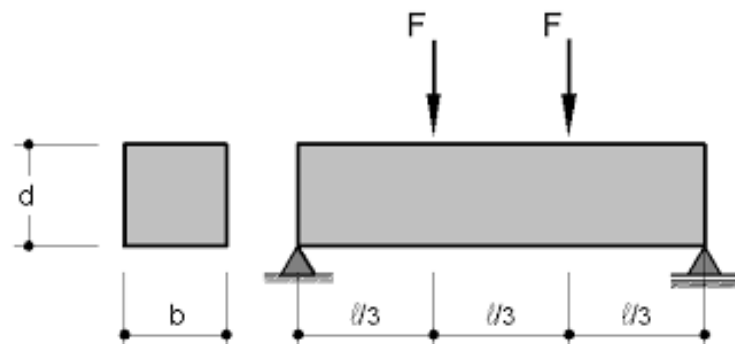
Fonte: Lobo Carneiro

O valor da resistência à tração por compressão diametral, F_{ct} , sp , encontrado neste ensaio, é um pouco maior que o obtido no ensaio de tração direta.

c) Ensaio de tração na flexão

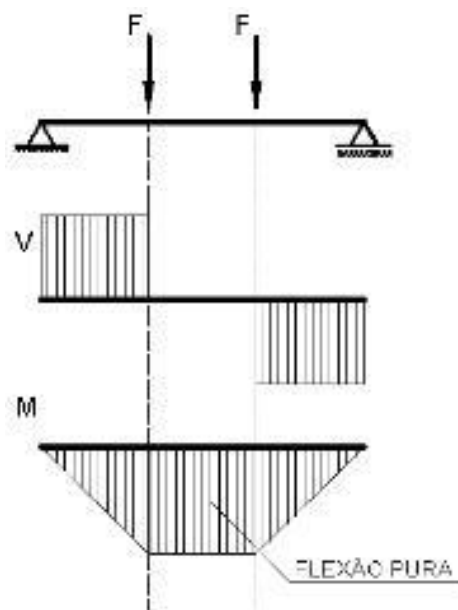
Para a realização deste ensaio, um corpo-de-prova de seção prismática é submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até à ruptura (Figura 5).

Figura 5: Ensaio de tração na flexão



Fonte: USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas

Figura 6: Diagramas de esforços solicitantes (ensaio de tração na flexão)



Fonte: USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas

d) Relações entre os resultados dos ensaios

Como os resultados obtidos nos dois últimos ensaios são diferentes dos relativos ao ensaio de referência, de tração direta, há coeficientes de conversão. Considera-se a resistência à tração direta, F_{ct} , igual a $0,9 F_{ct}$, sp ou $0,7 F_{ct}$, F , ou seja, coeficientes de conversão 0,9 e 0,7, para os resultados de compressão diametral e de flexão, respectivamente. Na falta de ensaios, as resistências à tração direta podem ser obtidas a partir da resistência à compressão F_{ck} :

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{Equação 2})$$

$$f_{ctk, inf} = 0,7 f_{ctm} \quad (\text{Equação 3})$$

$$f_{ctk, sup} = 1,3 f_{ctm} \quad (\text{Equação 4})$$

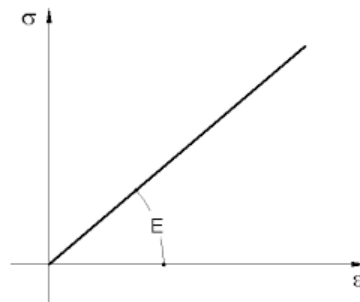
Nessas equações, as resistências são expressas em MPa. Será visto oportunamente que cada um desses valores é utilizado em situações específicas.

4.5.3 Módulo de Elasticidade

Outro aspecto fundamental no projeto de estruturas de concreto consiste na relação entre as tensões e as deformações.

Sabe-se da resistência dos materiais que a relação entre tensão e deformação, para determinados intervalos, pode ser considerada linear (Lei de *Hooke*), ou seja, $\sigma = E \varepsilon$, sendo σ a tensão, ε a deformação específica e E o módulo de elasticidade ou Módulo de Deformação Longitudinal (Figura 7).

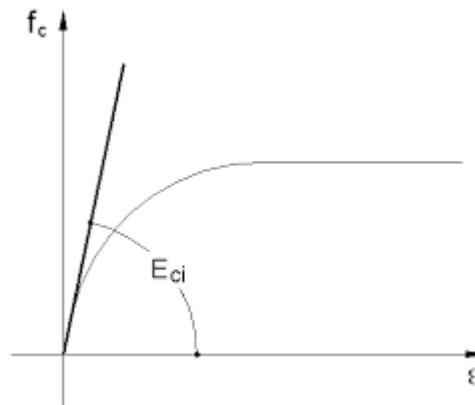
Figura 7: Módulo de elasticidade ou de deformação longitudinal



Fonte: USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas

Para o concreto a expressão do módulo de elasticidade é aplicada somente à parte retilínea da curva tensão-deformação ou, quando não existir uma parte retilínea, a expressão é aplicada à tangente da curva na origem. Neste caso, tem-se o módulo de deformação tangente inicial, E_{ci} (Figura 8).

Figura 8: Módulo de deformação tangente inicial (E_{ci})



Fonte: USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas

O módulo de deformação tangente inicial é obtido segundo ensaio descrito na NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação.

Quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto, para a idade de referência de 28 dias, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade inicial usando a expressão:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde o E_{ci} e f_{ck} estão em MPa.

O módulo de elasticidade secante, E_{cs} , a ser utilizado nas análises elásticas do projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de limites de serviço, deve ser calculado pela expressão:

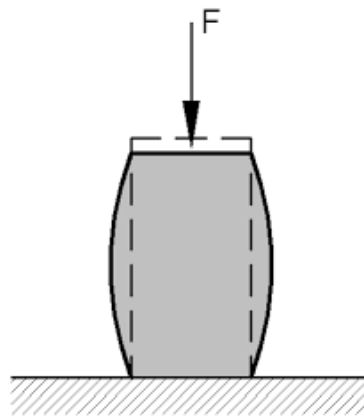
$$E_{cs} = 0,85 E_{ci}$$

(Equação 6)

a) Coeficiente de *Poisson*

Quando uma força uniaxial é aplicada sobre uma peça de concreto, resulta uma deformação longitudinal na direção da carga e, simultaneamente, uma deformação transversal com sinal contrário (Figura 9).

Figura 9: Deformações longitudinais e transversais



Fonte: USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas

A relação entre a deformação transversal e a longitudinal é denominada coeficiente de *Poisson* e indicada pela letra ν . Para tensões de compressão menores que $0,5 F_c$ e de tração menores que F_{ct} , pode ser adotado $\nu = 0,2$.

4.6 APLICAÇÕES DO CONCRETO RECICLADO

É possível reciclar qualquer tipo de concreto utilizado na construção desde que seja escolhido o uso adequado e se respeitem as limitações técnicas impostas por algumas normas da ABNT.

Segundo a NBR 8953:2015– concreto para fins estruturais – classificação pela massa específica, por grupos de resistência e Consistência, compreende como concreto estrutural a sua compressão axial acima de 20 MPa (MegaPascal), e massa específica entre 2000 e 2800 Kg/m³.

Outra aplicação do concreto reciclado como afirma a NBR 15115 e NBR 15116 para usos desse tipo de concreto em bases e sub-bases de pavimentos sem função estrutural, podendo trabalhar com um pavimento de concreto reciclado permeável.

Segundo a ABNT NBR 16416/2015 – Pavimentos permeáveis de concreto. O documento estabelece requisitos mínimos para projeto, especificação, execução e manutenção de pavimentos de concreto permeável, construídos com revestimentos de peças de concreto Inter travadas, placas de concreto ou pavimento de concreto moldado in loco.

Figura 10 – Bloco de Concreto Permeável



Fonte: Caroline Mazzonetto (2017)

A principal diferença do concreto permeável com o concreto convencional é o índice de vazios. Enquanto o concreto convencional é compacto e tem propriedades que o fazem enrijecer ao longo do tempo, tornando-o mais resistente, a característica do permeável é outra. Ele é feito a partir de material granular quase todo do mesmo tamanho, com a mesma granulometria. "O uso do mesmo tamanho de agregado cria vazios, porque eles não conseguem ser preenchidos", explica Afonso Virgiliis, engenheiro da secretaria de infraestrutura urbana e obras de São Paulo que tem mestrado em pavimentos permeáveis pela Universidade de São Paulo (USP).

A quantidade de pedra, areia, cimento e água vão variar de acordo com a resistência que se busca ter no concreto. Quanto maior a resistência que se procura, menor será a permeabilidade. Para conseguir mais permeabilidade, é preciso um maior volume de vazios e, portanto, haverá menos resistência. Por isso, há limitações na aplicação do sistema de drenagem com concreto permeável. Ele é mais indicado para locais de menor solicitação de carga, onde a resistência é menos exigida, como ciclovias, quadras poliesportivas e estacionamentos - a restrição de carga é para tráfego leve, como mostra na figura 11.

Figura 11 – Aplicação de um pavimento com bloco de concreto permeável



Fonte: Caroline Mazzonetto (2017)

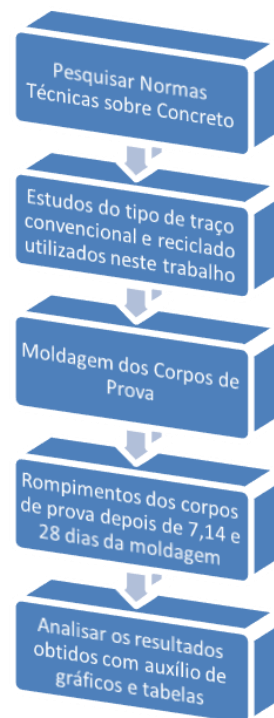
5 METODOLOGIA

A metodologia para este projeto baseia-se em uma pesquisa bibliográfica e experimental. Uma pesquisa bibliográfica é uma pesquisa elaborada a partir de um material já existente e publicada, como livros, artigos, endereços eletrônicos. Já a pesquisa experimental se caracteriza em uma pesquisa em que se determina um objeto de estudo, na qual se selecionam variáveis que o influenciam, definem-se as formas de controle e de observação dos efeitos que as variáveis produzem no objeto.

Todos os conteúdos presentes neste trabalho foram pesquisados, estudados e retirados de artigos, livros entre outros projetos acadêmicos que apresentam de uma forma ou de outra semelhança na ideia.

Na Figura 12, mostra o fluxograma explicando por partes o processo escolhido para realizar este trabalho.

Figura 12 – Partes do Processo do trabalho



Fonte: Autores (2018)

- **Materiais**

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os materiais necessários para a confecção dos concretos, convencional e reciclado. Para o concreto comumente utilizado em obras atualmente, foi utilizado o cimento Portland III (CP-III 32 MPa), areia média e brita nº0, e para os concreto com agregados não convencionais o mesmo tipo de cimento, brita nº0 reciclada, e areia média reciclada, sendo a brita e areia oriundos da classe A, como diz a NBR 15114, sobre resíduos sólidos.

- **Caracterização dos Materiais**

Com todos os materiais já em laboratório, o próximo passo foi a caracterização do RCD. Os ensaios realizados foram todos seguidos, passo a passo, pelas normas que os regem.

O primeiro ensaio realizado foi à determinação da composição granulométrica do material reciclado, tanto o RCD quanto a areia reciclada, tendo em vista a caracterização do material. Este ensaio é descrito pela norma NBR NM 248:2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica). Este, por sua vez, consiste em passar o material em uma malha de peneiras determinada pela NBR NM-ISO 3310-1:1996 ou NBR NM-ISO 3310-2:1996.

A Figura 13 apresenta o material depois do processo de caracterização por peneiramento de acordo com as normas citadas.

Figura 13 – Materiais depois do ensaio de peneiramento



Fonte: Autores (2018)

Traço e Confeção dos corpos de prova de Concreto

- **Traço de Concreto**

O primeiro traço de concreto em estudo é de um concreto com agregados convencionais, com traço de 1: 1,5: 2: 0,6, com as unidades calculadas em volume. O segundo utilizando 35% dos agregados de origem RCD, e o terceiro utilizando 55% dos agregados reciclados, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Composição dos traços e dosagens

Dosagem	Traço	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Tipo 1 (Convencional)	1:1,5:2:0,6	Natural	Natural
Tipo 2 (Reciclado)	1:0,5:0,7:0,5 1,0:1,3	35% Reciclado 65% Natural	35% Reciclado 65% Natural
Tipo 3 (Reciclado)	1:0,8:1,1:0,6 0,7:0,9	55% Reciclado 45% Natural	55% Reciclado 45% Natural

Fonte: Autores (2018)

- **Confecção do Concreto**

Para a produção dos concretos, foi utilizado um misturador mecânico (betoneira) para garantir a homogeneização do concreto e consequente característico, como mostra a figura 5. Antes da mistura do concreto, uma pequena quantidade de areia, cimento e água é misturada na betoneira com o intuito de untar a mesma para que no processo de fabricação do concreto a água não seja desperdiçada.

Figura 14 – Misturador Mecânico (betoneira)



Fonte: Autores (2018)

Para a fabricação dos concretos, o agregado graúdo reciclado foi devidamente selecionado para que somente fosse usado um material com a característica granulométrica correspondente a brita nº 0, que também foi usada no preparo do concreto convencional.

Com todos os componentes em quantidade, depositam-se os materiais em pequenas porções na betoneira para que está os misture gradualmente, sempre

adicionando água em pequenas quantidades, até que todo o material seja depositado e misturado.

O primeiro concreto a ser produzido foi o convencional, no qual foi utilizado os agregados convencionais secos e não lavados, tanto a areia quanto a brita nº 0 e o cimento Portland III.

Para a fabricação do segundo traço foi utilizado 35% de agregados graúdos e miúdos de origem reciclado sendo o restante convencional.

Para o último traço de concreto foi utilizado 55% dos agregados totais de origem RCD.

Em todos os concretos confeccionados houve o controle tecnológico com o ensaio de abatimento do tronco de cone, determinado pela norma NBR NM 67:1998 (Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone).

Assim como o ensaio de abatimento, em todos os concretos realizados foram feitos oito corpos-de-prova. Tal procedimento é descrito pela norma NBR 5738:2003 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova).

O Quadro 2 abaixo apresenta os valores de abatimentos realizados para os três tipos de traço de concreto.

Quadro 2 – Resultados dos Abatimentos do Tronco de Cone

Descrição do Traço	Slump Test (cm)
Tipo 1 (Convencional)	4
Tipo 2 (35% Reciclado)	4,5
Tipo 3 (55% Reciclado)	3

Fonte: Autores (2018)

- **Realização dos ensaios com os corpos de prova**

O ensaio realizado para a verificação da resistência final do concreto produzido foi de acordo com a norma NBR 5739:2007 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos). O ensaio foi realizado utilizando os recursos do laboratório de materiais de construção da faculdade de Aracruz – Faculdades Integradas de Aracruz - FAACZ, onde há a prensa hidráulica devidamente compatível com a descrita na norma, conforme apresentada na figura 7.

Figura 15 – Máquina para o ensaio de compressão axial.



Fonte: Autores (2018)

Para fins estatísticos, foram feitos dois corpos-de-prova para cada data de ensaio. Estas datas foram fixadas em 7, 14 e 28 dias após a data da produção do concreto.

Em cada data do ensaio os dois corpos-de-prova foram retirados do tanque de água, esperando alguns minutos para que secassem.

De acordo com a norma NBR 5739:2007, para que se obtenha a resistência à compressão dos corpos-de-prova, deve haver uma relação entre a carga máxima de ruptura com a área da seção transversal do corpo-de-prova ensaiado, resultando assim na resistência em Mega Pascal (MPa). A fórmula a ser empregada está apresentada na Equação abaixo:

$$f_c = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

f_c é a resistência à compressão, em MegaPascal;

F é a força máxima alcançada, em Newtons;

D é o diâmetro do corpo-de-prova, em metros.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os três tipos de traços de concretos realizados e os valores de resistência à compressão simples obtida através do ensaio da NBR 5739 – Ensaio de Compressão de corpo-de-prova cilíndrico foi realizado um quadro para armazenar esses valores.

Quadro 3 – Valores de resistência à Compressão simples de 7,14 e 28 Dias

Idades (Dias)	Tipos de traços de Concreto		
	Tipo 1 (Convencional)	Tipo 2 (35%Reciclado)	Tipo 3 (55%Reciclado)
7	11,43	13,33	12,03
14	17,93	16,61	16,74
28	21,62	19,62	20,55

Fonte: Autores (2018)

O Quadro 2 apresenta os Valores das resistências dos traços de concretos realizados em Mega Pascal (MPa), sendo o Reciclado 1 o traço utilizando 35% dos agregados reciclados, e o Reciclado 3 com 55% agregados reciclados.

A primeira observação feita foi que nos primeiros sete dias depois do processo de moldagem ambos os traços reciclados obtiveram valores superiores de resistência em relação ao traço de concreto convencional.

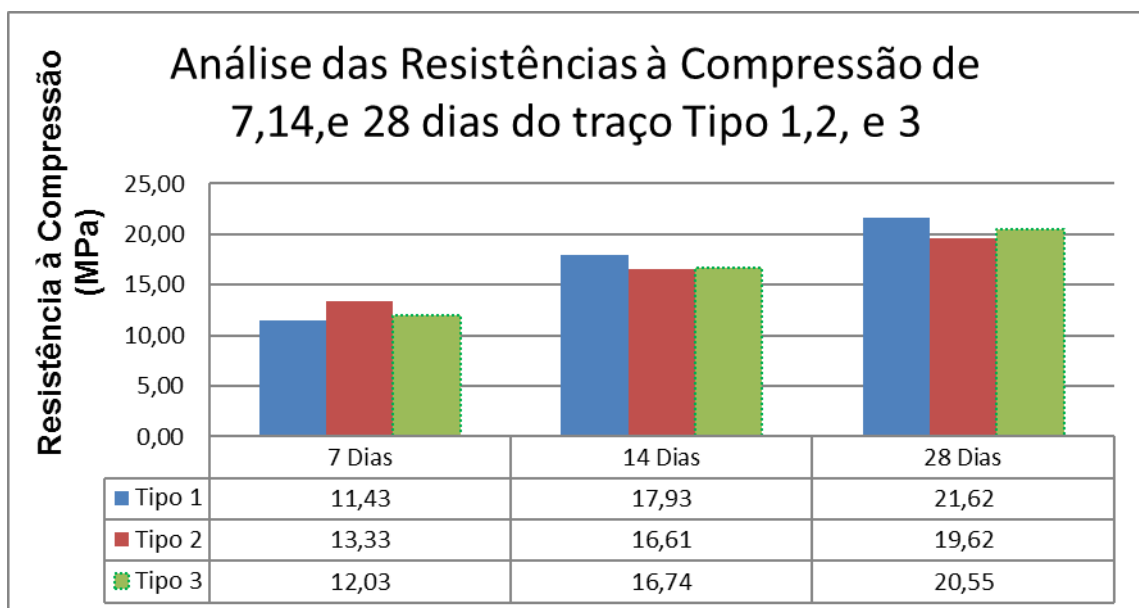
Em um traço de concreto vários fatores podem influenciar para uma alta ou queda de resistência, por exemplo, a quantidade de água, o tipo de cimento, a granulometria dos agregados presentes no traço, entre outros fatores.

Ambos os traços foram utilizados os agregados com a granulometrias de areia média e brita nº 0. Já a quantidade de água variou, pelo fato dos agregados

reciclados apresentarem uma característica de absorção de água diferente que a dos naturais.

Analisando as duas últimas linhas do quadro 2, podemos observar que diferente do que aconteceu com ambos os traços reciclados nos 7 dias, agora depois de 14 e 28 dias da moldagem dos corpos-de-prova, os valores de resistência à compressão do convencional foram maiores, comparando com os reciclados 1 e 2. Porém observando o gráfico 1, podemos apontar que o traço com 55% dos agregados reciclados foi o que mais se aproximou do convencional, com uma redução de aproximadamente 5,00%.

Gráfico 1 – Análise das Resistências à Compressão de 7,14, e 28 dias do traço Tipo 1, 2, e 3



Fonte: Autores (2018)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos em laboratórios, pode-se concluir que um traço com 55% dos agregados reciclados, podem não atingir uma resistência de um concreto convencional, mas, obter um valor mais aproximado, como por exemplo, os traços trabalhados neste projeto em que o traço reciclado 2 houve apenas uma redução de 5,00% do valor de resistência do convencional.

Segundo a NBR 8953 – Concreto para fins estruturais, “É considerado um concreto estrutural aquele que obter um f_{ck} maior do que 20 MPa”. Analisando essa afirmação da norma, com o resultado do último traço reciclado, realizado com 55% de agregados miúdos e graúdos reciclados, não pode ser utilizado para fins estruturais já que a resistência foi basicamente no limite, obtendo uma resistência igual à 20,55 MPa, e também que na maioria dos projetos estruturais se utiliza o concreto do grupo C25, ou seja, o f_{ck} igual a 25 MPa.

Visto por este ponto o traço atende a NBR 15115 e NBR 15116 que ambos trabalham sobre o uso do concreto reciclado sem função estrutural em pavimentos onde não há altas cargas e necessidade para trabalhar com um concreto com altas resistências.

Uma das opções mais aceitáveis para este resultado é a aplicação em um tipo de pavimento permeável, uma calçada, por exemplo, onde não há elevadas cargas de ruptura.

Para outros trabalhos sobre o concreto reciclado, é interessante realizar mais traços de concreto, porém, utilizando mais quantidade de concreto reciclado no traço ao ponto em que o traço inteiro seja reciclado, e dessa forma, preservar o meio ambiente para um futuro melhor e também ter uma melhora na economia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para Concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM – ISO 3311-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISO 3310-1, IDT). Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM – ISO 3311-2**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálicas perfuradas (ISO 3310-2:1999, IDT). Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. São Paulo, 2008.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos Permeáveis de Concreto - Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil –Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos. São Paulo, 2007.

BRASILEIROS GERAM MAIS RESÍDUOS, APESAR DA CRISE. Disponível em :<<http://www.bwexpo.com.br/single-post/2016/10/17/Brasileiros-geram-mais-res%C3%ADduos-apesar-da-crise>>. Acesso em 24 de novembro de 2018.

CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO. Disponível em:<<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso em 24 de novembro de 2018.

CONCRETO PERMEÁVEL. Disponível em:<<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/concreto-permeavel-alternativa-para-aumentar-a-permeabilidade-de-pavimentos-254488-1.aspx>>. Acesso em 24 de novembro de 2018.

CONCRETO PERMEÁVEL: COMO FAZER A APLICAÇÃO. Disponível em:<<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/concreto-permeavel/>>. Acesso em 24 de novembro de 2018.

DOSAGENS E APLICAÇÕES DE CONCRETOS ESTRUTURAIS DE ACORDO COM AS CLASSES DE CONSISTÊNCIA DA NBR 8953:2015. Disponível em:<

<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2017/10/arqnot10052.pdf>>.Acesso em 24 de novembro de 2018.

O QUE É ENTULHO? . Disponível em:< <https://abrecon.org.br/entulho/o-que-e-entulho/>>.Acesso em 24 de novembro de 2018.

O QUE É O CONAMA. Disponível em:<<https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27961-o-que-e-o-conama/>>.Acesso em 24 de novembro de 2018.

TIPOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em:<<https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-residuos/>>.Acesso em 24 de novembro de 2018.

TRAÇO DE CONCRETO: COMO CALCULAR AS MISTURAS. Disponível em:<<https://cimentomontesclaros.com.br/traco-de-concreto/>>.Acesso em 24 de novembro de 2018.

TRAÇO DO CONCRETO DEVE SER AJUSTADO PARA AS NECESSIDADES DE CADA PROJETO. Disponível em:< https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/traco-do-concreto-deve-ser-ajustado-para-as-necessidades-de-cada-projeto_16199_10_0>.Acesso em 24 de novembro de 2018.