



**FACULDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS – FAPAC
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS PORTO LTDA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ISABELA GOMES TEIXEIRA PRAZER

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM
CONCRETO PARA FINS RODOVIÁRIOS**

**PORTO NACIONAL - TO
2018**

ISABELA GOMES TEIXEIRA PRAZER

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM
CONCRETO PARA FINS RODOVIÁRIOS**

Projeto de Pesquisa submetido ao Curso de Engenharia Civil da FAPAC / ITPAC PORTO NACIONAL, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área: Construção Civil.

Orientadora: Prof^a. Me. Taís Gomes.

Coorientador: Prof. Me. Flávio Vieira da Silva Júnior.

PORTO NACIONAL – TO

2018

ISABELA GOMES TEIXEIRA PRAZER

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM
CONCRETO PARA FINS RODOVIÁRIOS**

Projeto de pesquisa submetido ao curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda., como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Apresentado e defendido em ____/____/____ () APROVADO () REPROVADO

Banca examinadora:

Orientador (a): Professora Me. Taís Gomes

Professor: Me. Flávio Vieira da Silva Júnior

Eng.º Civil: João José de Castro Neto

RESUMO

A construção civil é uma grande geradora de resíduos que, em sua maioria, são descartados em aterros ou em lugares irregulares e geram impactos ambientais. A construção sustentável é uma alternativa que busca a prevenção e a diminuição da geração de resíduos reduzindo, reutilizando e reciclando. A reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como agregados do concreto para pavimentos pode trazer vantagens econômicas, técnicas e ambientais. O pavimento de concreto tem como vantagem uma durabilidade maior que os demais. Este trabalho busca investigar os resíduos gerados em obras de construção e demolição na cidade de Porto Nacional/TO e sua aplicação como adregados miúdos do concreto. A pesquisa tem como objetivos resultados que permitam a verificação do comportamento do concreto em relação da sua resistência a tração e compressão para analisar se são aptos de utilização para fins rodoviários. Será feito a caracterização e avaliação dos resíduos de cerâmica, de concreto/argamassa e agregados reciclados sem nenhuma classificação quanto ao tipo de material. O agregado miúdo utilizado terá como percentuais de substituição fixados em 0%, 20%, 40% e 60%. Por meio dos ensaios que serão executados irá ser feito a verificação da possibilidade de substituição de agregados miúdos convencionais por agregados miúdos reciclados.

Palavras-chave: Reciclagem. Resíduo. Concreto. Pavimentação.

Abstract

Civil construction is a major waste generator, which is mostly discarded in landfills or in irregular places and generate environmental impacts. Sustainable construction is an alternative that seeks to prevent and reduce waste generation by reducing, reusing and recycling. Recycling of Construction and Demolition Waste (RCD) as concrete aggregates for pavements can bring economic, technical and environmental benefits. The concrete pavement has the advantage of a greater durability than the others. This work seeks to investigate the waste generated in construction and demolition works in the city of Porto Nacional / TO and its application as kids' concrete aggregates. The objective of the research is to verify the behavior of the concrete in relation to its tensile and compressive strength in order to analyze if they are suitable for road use. The characterization and evaluation of ceramic, concrete / mortar residues and recycled aggregates will be done without any classification as to the type of material. The used aggregate will have replacement percentages set at 0%, 20%, 40% and 60%. By means of the tests that will be executed will be done the verification of the possibility of replacing conventional kids aggregates with recycled kids.

Keywords: Recycling. Residue. Concrete. Paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de pavimento asfáltico (corte transversal)	13
Figura 2 – Estrutura de pavimento concreto (corte longitudinal)	13
Figura 3 - Origem do RCD em algumas cidades brasileiras (% da massa total)	22
Figura 4 - Resistências características à compressão aos 7 dias de idade	26
Figura 5 - Resistências características à tração aos 7 dias de idade	26
Figura 6 – Disposição do corpo de prova	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de sub-bases para pavimentos rígidos	16
Quadro 2 - Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil	23
Quadro 3 - Cronograma do Projeto de Pesquisa	36

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento *Portland*
SINDUSCON-SP - Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
RCD – Resíduos de Construção e Demolição
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
PCS – Pavimentos de Concreto Simples
PCA – Pavimentos de Concreto Armado ou Estruturalmente Armado
PCPRO – Pavimentos de Concreto Protendido
WT – *whitetopping*
WTUD – *Whitetopping* Ultradelgado
PCPM – Pavimentos ou Placas de Concreto Pré-Moldadas
AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*
a/c – Relação água cimento
DER/PR – Departamento de Estrada de Rodagem do Estado do Paraná
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPII-E – Cimento *Portland* Classe dois Composto com Escória

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO	12
3.1.1 Pavimento de Concreto	14
3.1.2 Estrutura do pavimento rígido	15
3.1.3 Dimensionamento – Concreto	18
3.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	20
3.2.1 Geração de RCD e impacto ambiental	22
3.2.2 Caracterização do RCD	24
3.2.3 Aplicação como agregado do concreto	25
4 METODOLOGIA	28
4.1 MATERIAIS	28
4.2 MÉTODOS	29
4.2.1 Caracterização dos agregados	29
4.2.1.1 Granulometria	29
4.2.1.2 Massa unitária	30
4.2.1.3 Massa específica	31
4.2.1.4 Impurezas Orgânicas	31
4.2.2 Caracterização do cimento	31
4.2.3 Dosagem	32
4.2.4 Moldagem dos corpos de prova	33
4.2.5 Ensaio de resistência a compressão	33
4.2.6 Ensaio de resistência a tração do concreto por compressão diametral	34
5 CRONOGRAMA	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos e sua disposição inadequada é uma das principais causas da degradação do meio ambiente que pode afetar na qualidade de vida das pessoas, nos serviços do ecossistema e na disponibilidade de recursos naturais. A construção civil, apesar de ser um setor eminente para a sociedade, além de ser uma grande consumidora desses recursos, é uma das grandes geradoras de resíduos que se não tiver um correto gerenciamento acaba se tornando parte deste problema, no qual se também não houver uma gestão adequada representa um grande desperdício econômico. (SINDUSCON-SP, 2012)

Os resíduos da construção civil são chamados de resíduos de construção e demolição (RCD) e em muitos casos pode ser composto por materiais suscetível de reaproveitamento e reciclagem. Um opção de sua reciclagem é como agregados reciclados para concretos que podem atingir ótimos desempenhos como na fabricação de concretos para blocos de pavimentação.

Existem dois tipos de pavimentos rodoviários, os flexíveis, que possuem um custo de execução menor, e os rígidos ou de concreto. Porém, segundo Oliveira (2000), o pavimento de concreto tem como vantagem uma durabilidade maior, podendo funcionar mais de 20 anos sem nenhuma intervenção para reparos ou manutenção.

Portanto, o pavimento de concreto possui ao longo do tempo um custo benefício maior e se torna uma questão importante a ser estudada a associação do dimensionamento do concreto utilizado para este fim com a reciclagem de resíduos de construção como agregados podendo trazer mais vantagens econômicas, técnicas e ambientais.

Deste modo, o presente trabalho visa realizar um estudo de adição de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo no concreto, analisando sua influência na resistência a tração e a compressão para que se possa verificar a possibilidade de sua utilização para fins rodoviários.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da utilização de agregado miúdo reciclado no desempenho mecânico de concretos para pavimentação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar uma amostra de RCD da cidade de Porto Nacional - TO em conformidade com as normas técnicas do ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e modificar sua granulometria, permitindo sua utilização de acordo com as especificações da norma do DNIT 054 (2004);
- Verificar o comportamento do concreto quanto à sua resistência característica a compressão e a tração;
- Comparar os efeitos do uso de agregados miúdos reciclados de cerâmica, agregados reciclados miúdos de concreto/argamassa e agregados miúdos reciclados sem nenhuma classificação quanto ao tipo de material.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO

Balbo (2007) explica que o homem criou o que comumente chama-se de estradas para ter uma melhor acessibilidade a áreas de cultivo e as fontes de água, rochas, madeira e minerais e, também, a fim de aumentar seu território. Os romanos buscaram aprimorar essas estradas acrescentando sistemas de drenagem e pavimentação buscando uma durabilidade maior.

No Brasil, de acordo com DNIT (2014), desde o século XVI caminhos de carroças davam acesso a vilas e cidades. Mas foi somente em 1861 que se inaugurou a primeira estrada pavimentada, nomeada de rodovia União Indústria, a qual, com extensão de 144 quilômetros, naquela época, considerou-se o maior feito da engenharia na América Latina.

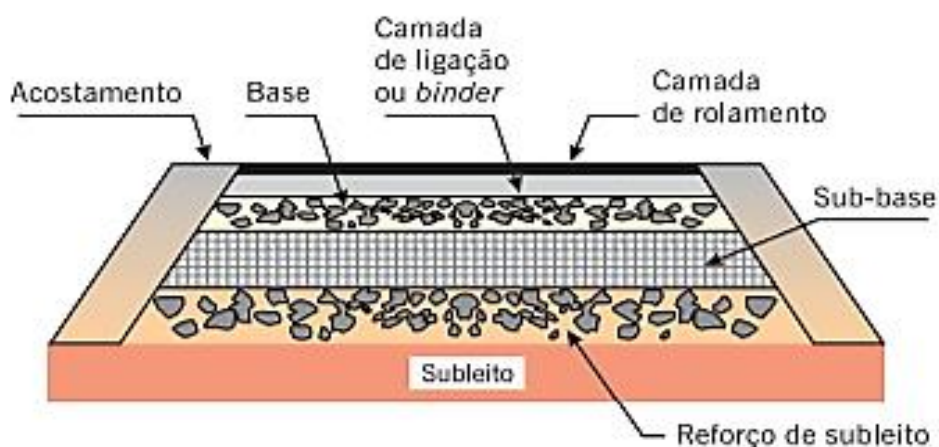
Nobrega (2003) define o pavimento como um elemento estrutural sobre o subleito (terraplanagem feita atendendo as exigências especificadas) e que é composto por várias camadas possuindo três finalidades: resistir às tensões verticais que o fluxo de veículos provoca distribuindo-as para o subleito; garantir maior vida útil da superfície de tráfego suportando as forças horizontais de tração; e permitir seu uso de forma segura e cômoda ao possibilitar mais qualidade à superfície de rolamento.

O DNIT (2006), classifica os pavimentos em flexíveis, rígidos e semi-rígidos. Os flexíveis são os sujeitos a uma deformação elástica significativa em todas as suas camadas perante a carga aplicada, como exemplo temos um pavimento composto de uma base granular coberto com uma camada de revestimento asfáltico. No rígido, a absorção das tensões totais do carregamento aplicado ocorre por meio de uma única camada, o revestimento, que possui uma rigidez alta comparada as camadas inferiores e que pode ser exemplificado pelo pavimento feito por meio de lajes de concreto de cimento *Portland*. Por fim, o semirrígido apresenta a base em uma camada constituída de material cimentado por algum aglutinante, e essa camada de solo cimento recebe revestimento de uma camada asfáltica.

Bernucci et al. (2006) consideram uma nomenclatura mais usual e simplificada para os tipos de pavimento, categorizando de uma forma mais tradicional os pavimentos asfálticos e pavimentos de concreto de cimento *Portland* em, respectivamente, flexível e rígido. Reforço do subleito, sub-base, base e revestimento

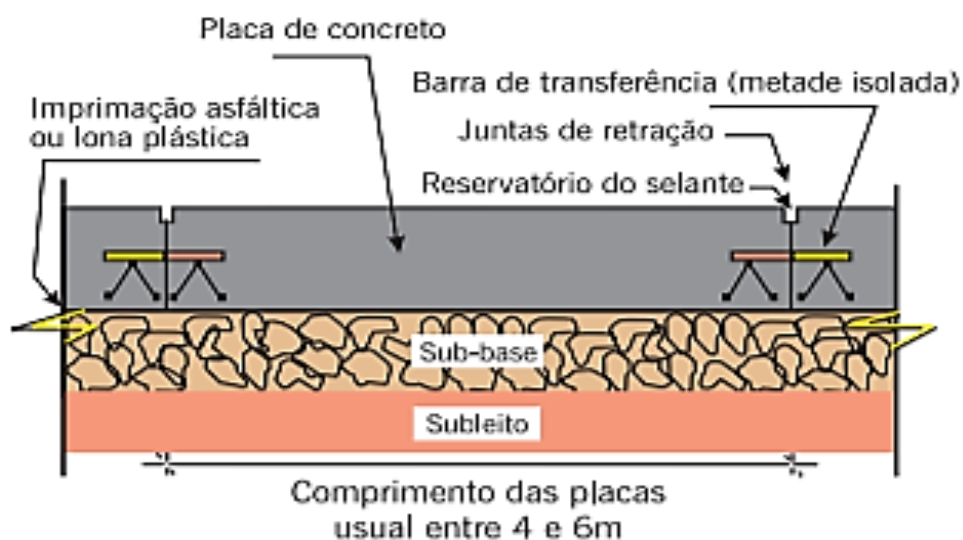
asfáltico, partindo do subleito, são as quatro camadas em que um pavimento asfáltico é estruturado, como mostrado na Figura 1, havendo a possibilidade de que seu revestimento seja constituído por camada de rolamento e camada de ligação ou, simplesmente, *binder*. O pavimento de concreto possui uma camada de rolamento feita com placa de concreto de cimento *Portland*, podendo ser ou não armada com barras de ferro, e, também, uma subcamada que, pelos atributos de seus elementos serem equivalente aos de uma sub-base de pavimento asfáltico, é então referenciada como sub-base (Figura 2).

Figura 1 – Estrutura de pavimento asfáltico (corte transversal)



Fonte: Benucci et al, (2006).

Figura 2 – Estrutura de pavimento concreto (corte longitudinal)



Fonte: Benucci et al, (2006).

Segundo Oliveira (2000) é a questão da distribuição de tensões para as camadas que estão debaixo que distingue estruturalmente o pavimento flexível do pavimento rígido. Para decidir qual a melhor estrutura para um determinado projeto, é essencial ter um conhecimento vasto das diversas tecnologias que existem, avaliando fatores fundamentais na escolha como segurança, durabilidade, economia, tempo de execução, e materiais, equipamentos e mão de obra disponíveis.

3.1.1 Pavimento de Concreto

Balbo (2009) define como pavimentos de concreto os que têm o revestimento desenvolvido em concreto formado por ligantes hidráulicos e agregados, sendo desenvolvido por uma variedade de métodos de elaboração e manipulação como, por exemplo, a pré-moldagem. Existem diversos tipos de pavimentos de concreto: pavimentos de concreto simples (PCS), pavimentos de concreto armado ou estruturalmente armado (PCA), pavimentos de concreto protendido (PCPRO), *whitetopping* (WT), *whitetopping* ultradelgado (WTUD) e pavimentos ou placas de concreto pré-moldadas (PCPM).

O DNIT (2005) afirma que os pavimentos de concreto simples fazem a transferência dos carregamentos entre as camadas apenas pela entrosagem dos agregados e, assim, não possuem nenhum tipo de aço. No Brasil, pela necessidade de serem curtas para evitar fissuração por retração, as placas geralmente são de 5 a 6 metros de comprimento.

O pavimento estruturalmente armado, conforme Pitta e Rodrigues (1997), possui armação na parte inferior de suas placas, que é o local cujo qual manifestam as tensões mais elevadas de tração. O benefício adquirido com esse pavimento é que sua capacidade estrutural sempre vai ser a mesma independentemente do lugar em que o carregamento atue.

O pavimento rígido em concreto protendido, para Schmid (2005), gera redução na espessura da placa devido ao controle da resistência à tração ser da protensão que, ao comprimir antecipadamente o concreto, concebe nele uma tensão reserva. Essa compressão da placa poupa a sub-base de um fenômeno chamado de bombeamento, pois ela institui um pavimento sem trincas e impermeável.

A NORMA DNIT 068 (2004) prescreve que o *Whitetopping* é constituído por um pavimento flexível, que já existe, fazendo papel de sub-base e, por cima dele, é

construído um pavimento de concreto de cimento *Portland*. As armaduras que detêm as fissuras por retração e os sistemas para transferência ou ligamento das cargas entre as placas delimitadas pelas juntas transversais e longitudinais não são feitas com o propósito de serem armaduras dessa estrutura. Assim, não se adere armaduras pois as tensões atuantes são resistidas unicamente pelo concreto.

De acordo com Mesquita (2001) o *Whitetopping* está sendo melhorada e muito utilizada chegando a substituir o uso de pavimento asfáltico para sempre, principalmente, em locais com tráfego alto. Já houve um desenvolvimento bastante significativo que possibilitou o uso de uma espessura bem pequena e que consequentemente reduziu bastante o seu custo e gerou uma nova tecnologia passando a ser chamada de Ultra-Delgado *Whitetopping* (*Ultra-Thin Whitetopping*).

Para as placas pré-moldadas, Balbo (2009) relata que os processos industriais possibilitam uma maior resistência, redução de custo e mais homogeneidade dos concretos por garantirem que as condições do processo de cura sejam melhores. Elas são geralmente fornecidas sobre medida quando houver necessidade de uma substituição rápida das placas de um pavimento com concreto deteriorado, pois permitem maior controle e precisão em sua execução.

3.1.2 Estrutura do pavimento rígido

Estruturalmente, Balbo (2007) explica que a estrutura de um pavimento é criada em função de reduzir pressões geradas nas partes inferiores, recebendo e transmitindo os esforços, porém isso não é uma determinação geral. Por isso, existem finalidades distintas para cada camada que compõe o pavimento cujo quais trabalham com as deformações de acordo com a capacidade que tem e com as suas propriedades para que assim não haja ruptura ou danificação, prematuramente e sem previsão, nos seus materiais que os constituem. As camadas de um pavimento são: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito (fundação).

Para Senço (2007), o revestimento, capa ou capa de rolamento é a camada destinada a receber de forma direta a ação do tráfego e, consequentemente, tendo a função de tornar a superfície de rolamento melhor, em relação a dar segurança e conforto ao seu usuário, visto que ela também resiste ao desgaste aumentando a vida útil da estrutura sendo a camada mais nobre dimensionada com uma espessura que não reduza sua resistência pois deve ser capaz de garantir sua finalidade de maneira

eficaz. A base, por sua vez, podendo ser integrada ou não a sub-base e ao subleito, é designada em resistir e distribuir esforços verticais resultantes do fluxo de veículos.

Segundo Rodrigues (2011), no pavimento rígido existe apenas uma camada superior formado unicamente pela placa de concreto cimento exercendo, ao mesmo tempo, função de revestimento e base e que promove impermeabilidade não só pela laje, mas também pelas juntas nas quais precisam serem seladas com material apropriado.

Pitta (1998), se refere a sub-base como uma camada fina com função garantir eliminação do bombeamento de finos dos solos da fundação e, também, dá-lhe suporte suficientemente constante e uniforme. Se ela for aderida com material apropriado, aumentará o coeficiente de recalque contido no conjunto subleito-sub-base e, conseqüentemente, proporcionará economia na espessura da placa de concreto que sofrerá uma certa redução.

O DNIT (2005), apresenta os tipos de sub-base, especificadamente, para os pavimentos rígidos divididas em sub-bases granulares, que devem seguir as exigências da AASHTO M 155 e ASSHTO M 147-65, e sub-bases tratadas, formada de misturas cimento Portland, água, agregados e solo, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de sub-bases para pavimentos rígidos

Sub-base para pavimentos de concreto	Sub-bases granulares	Granulometria fechada	
		Granulometria aberta	
	Sub-bases tratadas	Com cimento	Solo-cimento Solo melhorado com cimento Brita graduada tratada com cimento Concreto rolado
		Com outros aditivos	Asfalto Cal Pozolana

Fonte: DNIT (2005).

O Balbo (2007), explica que não é obrigatório o emprego de reforço do subleito no qual é uma camada feita sobre a fundação com um solo de melhor qualidade que tem finalidade de servi de reforço em sua superfície recebendo, assim, pressões com magnitudes menores que tenham compatibilidade com a sua resistência. O subleito, em si, é formado pelo material natural assentado e compactado ou por um material que foi transportado até o local onde será feito o

pavimento e depois compactado, desta maneira essa camada aliviará os esforços, gerados na sua superfície, em sua profundidade.

Xerez Neto (2013) argumenta que, no caso dos pavimentos de concreto, não se utiliza o reforço de subleito em razão de que a fundação tem condições de suporte adequadas e assim ficando somente com as camadas de subleito, sub-base e revestimento. Coerente com a estrutura apresentada na imagem 1.2.

Rufino (1997) aborda que ao projetar um pavimento existirão dificuldades que tornam o projeto complexo quando forem analisar algumas variáveis, como o tráfego e o clima, que são dificilmente previstas, porém, mesmo assim, devem ser considerados os fatores de condições ambientais, tráfego (localização, volume, carga por eixo), análise de seus componentes e de sua geometria e suporte de sua fundação.

Conforme Oliveira (2008) diz, os métodos utilizados para dimensionamento do pavimento de concreto se desenvolveram por meio do princípio de dimensionamento que Westergaard propôs se baseando na Teoria da Elasticidades. Em relação a esses métodos, os mais usuais são os métodos de dimensionamento especificado pelo PCA (1995) e AASHTO (1993).

Segundo o DNIT (2005), para proporcionar um nível de segurança adequado nos projetos de pavimentos rígidos, se introduziu o dimensionamento baseados no conceito de confiabilidade estatística. Foram feitos estudos de diversas escolas e tendências cujos quais foram decisivos para escolha dos três métodos inclusos em seu manual. Para o pavimento de concreto simples foram escolhidos dois métodos alternativos em que será usado o que tiver conformidade com os dados disponíveis de projeto e com a experiência regional, que são os de 1966 e 1984 da *Portland Cement Association* (PCA). O PCA (1966) é embasado no Modelo de fadiga do concreto e, também, no sistema de análise estrutural associado ao caso de quando as placas elásticas estão apoiadas em fundação contínua. Já o PCA (1984) introduz o modelo de Erosão a um modelo de Fadiga, nos quais considerações são aderidas sobre o Escalonamento, usando a análise estrutural por Elementos Finitos. O terceiro e último método é para o pavimento estruturalmente armado em que o dimensionamento é feito, conforme a proposta de modelo feito por Westergaard mediante de Cartas de Influências (Pickett e Ray), fundamentado na determinação dos momentos fletores e das tensões atuantes.

3.1.3 Dimensionamento – Concreto

Pedroso (2009), define o concreto como uma pedra artificial moldada conforme a criatividade construtiva de uma pessoa que desenvolveu um material com resistência parecida com a de rochas naturais, quando endurecidos, e quando estão no estado fresco é um composto plástico que permite ser modelado em diversos tamanhos e formas. Ele é usado como material construtivo de uma maneira muito ampla como em edifícios, casas de alvenaria, em obras de saneamento, em rodovias, etc., e assim estimasse que seu consumo anual é de 11 bilhões de toneladas.

De acordo com Xerez Neto (2013), o concreto é composto pela mistura, homogênea e íntima, de um determinado aglomerante (cimento sem ou com adições) com agregados graúdos (brita), agregados miúdos (areia), água, e, em alguns casos, aditivos na qual, mediante o passar do tempo, obtém-se elevadas resistências à compressão e baixas resistências à tração.

Os concretos, para Balbo (2009), utilizados como bases ou revestimentos de pavimentos, precisam de um rigoroso controle tecnológico para que exerçam sua função de forma satisfatória e seu comportamento seco e endurecido não é restrito a questões associadas a especificação de projeto do controle da resistência. Porém, não é em todas as obras que todas as características poderão ser controladas devido, geralmente, a falta de especificações apropriadas, a não compatibilidade de custos e prazos aos padrões da obra e da tecnologia disponível que será usada para o controle tecnológico.

Segundo Severi (1997) apud Pitta (1989), um pavimento de concreto necessita grandes resistências a tração na flexão e à compressão simples por sofrer grande intensidade de ações mecânicas geradas pelas cargas de tráfegos e pelos efeitos ambientais, e, também, geralmente precisam de um tipo de concreto duro com consistência seca e com um grau mínimo de trabalhabilidade para se conseguir uma camada densa, homogênea e com bastante impermeabilidade. Assim, a dosagem do concreto para pavimentação de ser feita por método experimental e considerando os requisitos de baixa relação água cimento (a/c), alta resistência mecânica, mínimo consumo unitário de cimento, consistência seca, trabalhabilidade e limitação da dimensão máxima característica do agregado em que se pode considerar, em relação a estes, que o tráfego de um pavimento rígido só poderá ser aberto se sua resistência

efetiva for no mínimo igual a resistência característica estabelecida no dimensionamento (Resistencia a Tração por Flexão – Modulo de Ruptura - $f_{ctM,k}$).

A norma DER/PR ES-P 35 (2005) prescreve que se determine por método racional a composição do concreto que será usado para fazer pavimentos rígidos mediante as normas NBR 12655 e NBR 12821 para que assim, através dos materiais disponíveis, se alcance um betão fresco com trabalhabilidade apropriada a metodologia construtiva aplicada com um resultado duradouro e endurecido compacto, de permeabilidade baixa e que tenha condições de acabamento superficial e de resistência mecânica, especificadas no projeto de pavimentação, satisfatórias.

Para o DNIT (2005), o traço do concreto designado a execução de pavimento tem como aspectos principais para sua definição a relação água-cimento e o teor de argamassa e de água. O manual determina o uso do roteiro da Norma DNIT-054/2004-PRO para o estudo do mesmo e direciona que a execução, com formas fixas, de um pavimento de concreto simples convencional em que se considera a limitação em 50 milímetros de dimensão máxima característica do agregado no concreto e, em torno, de 7 centímetros o abatimento, na maioria dos casos, se tem verificado uma variação de 44% a 50% de teor de argamassa e um variação entre 7,5% e 8,5% de teor de água expressado por meio da relação água-mistura seca.

A norma DNIT-054/2004-PRO regulamenta, em seu roteiro de determinação do traço, requisitos para se obter nas características do concreto de cimento *Portland* destinados a pavimentos. Alguns desse requisitos são:

- Concretos plásticos com abatimento (abatimento no tronco de cone) $\geq$ 20 milímetros;
- Concretos secos com abatimentos (índice VeBe) $<$ 20 milímetros;
- Consumo de cimento mínimo de 320 Kg/m³;
- Relação água cimento (a/c) entre 0,4 e 0,56;
- Dimensão máxima do agregado gráudo de 1/5 a 1/4 da espessura da placa (nunca superior a 50mm);
- Exsudação de 1,5% (máximo); e
- Teor máximo de ar incorporado de 0,5%.

Oliveira (2000) inclui como parâmetro do concreto para dimensionar a espessura de pavimentos de concreto, simples ou com armadura de retração, a resistência à tração na flexão (f_{ctm}) através do modulo de ruptura (M_r), pois, quando

a placa é carregada, ela sofre esforços de tração e compressão e a resistência à compressão do mesmo é bem maior que à tração. Pode-se então, adotar a resistência característica ($f_{ctm,k}$) alcançada aos 28 dias, que é mais comum, ou a resistência obtida aos j dias ($f_{ctm,j}$), que neste caso pode ser aos 90 dias tendo em conta que, após esse tempo, ocorrerá a maior parte do carregamento.

Pitta (1998) afirma que para um concreto com comportamento adequado as finalidades do pavimento e de características globais, aconselha-se uma resistência característica a tração na flexão aos 28 dias de 4,5 MPa e quando for optado por usar a do aos 90 dias, essa resistência tem que ser no mínimo igual a 1,1 do valor referente aos 28 dias.

DNIT (2005) especifica que, para os concretos utilizado na realização de pavimentos rígidos, a resistência característica a tração na flexão definida no projeto geralmente é de 4,5 MPa ou que, assim como nos pavimentos estruturalmente armados, a resistência característica a compressão axial geralmente é de 30MPa.

3.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A NBR 10004 (2004) define os resíduos sólidos como aqueles que se encontram no estado solido e semissólido provenientes de atividades de origem comercial, doméstica, industrial, hospitalar, agrícola, de varrição e de serviços, entre outros.

Ângulo (2000) esclarece que para os resíduos de construção e demolição, alguns autores preferem utilizar o termo RCD e outros o termo entulho havendo discordâncias na sua definição devido a sua abrangência. Para o autor, RCDs são os resíduos originados pelas atividades de construção em geral, incluindo até mesmo a vegetação, ou seja, são os resíduos de novas construções, demolições e solos de limpezas de terreno.

De acordo com Philippi Jr. (2005), existe uma série de procedimentos que os resíduos sólidos, independentemente de sua origem, devem passar para que sejam manejados e destinados de forma ambientalmente e sanitariamente segura. Essas etapas são: acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final.

Nagalli (2014) relata que de fato existiram iniciativas de tratamentos de resíduos desenvolvidas no decorrer da história. No início do século XIX o entulho de

construções foi processado com escória de alto-forno na Europa. Já em 1920, houve utilização e o aproveitamento de alguns rejeitos em construções na Holanda. Os destroços das construções europeias gerados durante a Segunda Guerra Mundial foram utilizados, como agregados para a produção de asfalto e concreto, e na Alemanha, utilizou-se 12 milhões de metros cúbicos de agregados provenientes da alvenaria na produção de concreto. A escassez de petróleo fez com que aderissem o uso de asfalto velho para fazer novas camadas de pavimento nas décadas de 1950 a 1970. A derrubada do muro de Berlim em 1989 resultou até na venda de seus restos que foram e ainda são vendidos como *souvenir*.

Oliveira (2002) elenca que, como a vida útil projetada nas obras de construção civil é por volta de 50 anos, existe atualmente um grande número de construções no final de seu ciclo de utilização, iniciando-se as recuperações, reformas, demolições e a substituição das construções antigas por novas, gerando muito entulho e levando a uma desordenada formação e descarte de material de construção em locais inadequados. O clamor da sociedade por providências, tanto por parte das autoridades do governo quanto por parte dos responsáveis da geração, incentivou as empresas na busca por reduzir os desperdícios, aderir a processos racionalizados, diminuir custos e alcançar sua qualificação obtendo certificação ISO 14000.

Guerra (2012) aborda o desenvolvimento sustentável como um princípio que busca garantir que futuras gerações também desfrutem dos recursos que hoje temos disponíveis, lutando por uma boa relação entre o homem e seu ambiente.

Para Carneiro, Brum e Cassa (2001), o conceito de desenvolvimento sustentável gerou mudanças profundas na sociedade, atingindo as áreas da construção civil, da fabricação dos materiais de construção, da extração de matérias primas e do canteiro de obra, quanto aos estágios de operação, manutenção e demolição. Assim, a tendência da reciclagem de resíduos de outras indústrias terá que ser analisado no setor, onde se tem uma atividade multidisciplinar ao se desenvolver produtos contendo resíduos, cabendo também aos engenheiros civis essa responsabilidade técnica.

Segundo Cunha (2007), a prevenção e a diminuição da geração de resíduos são requisitos na construção sustentável. A reciclagem busca minimizar o consumo de recursos naturais e reaproveitar dos materiais da melhor forma, causando a reeducação de hábitos da sociedade. Optar pela reciclagem de resíduos de

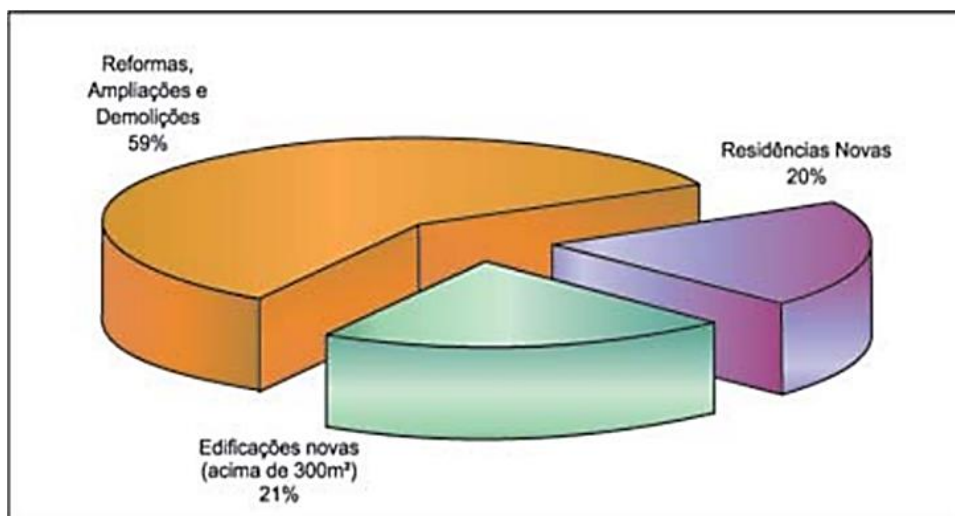
construção como agregados pode trazer vantagens econômicas, técnicas e ambientais.

3.2.1 Geração de RCD e impacto ambiental

Santos (2007) observa que a indústria da construção civil possui característica peculiar ao conservar fortes traços artesanais que colabora para uma alta geração de resíduos. Resumidamente, a construção, manutenção e demolição são as três fases em que os RCDs são gerados nesta atividade.

Alípio (2010) ilustra as origens dos resíduos de construção e demolição das cidades brasileiras na Figura 1, onde 59% são gerados de reformas, ampliações e demolições, 21% das novas edificações acima de 300 m² e, por fim, os 20% restantes são resultantes da construção de novas residências.

Figura 3 - Origem do RCD em algumas cidades brasileiras (% da massa total)



Fonte: Alípio (2010).

Segundo a ABRELPE (2017), o Brasil apresenta uma geração de resíduos sólidos urbanos em um total anual de 78,4 milhões de toneladas demonstrando um aumento em cerca de 1% em comparação a 2016. Já os resíduos de construção e demolição foram coletados em cerca de 45 milhões de toneladas nos municípios brasileiros no qual se configura em 0,1% de diminuição em relação a 2016, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil

REGIÃO	2016	2017	
	RCD Coletado (t/dia) / Índice (kg/hab/dia)	RCD Coletado (t/dia)	Índice
Brasil	123.619/0,600	123.421	0,594

Fonte: ABRELPE (2017).

O Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (2012) ressalta cerca de 70% dos resíduos gerados na construção civil são oriundos de obras de demolição, reformas e de pequenas obras, ou seja, tem-se sua parcela maior no pequeno gerador, cujos resíduos são recolhidos pelos serviços urbanos de limpeza. Os municípios devem regulamentar a gestão dos resíduos para os pequenos e grandes geradores com a implantação de equipamentos (públicos, privados ou em parceria entre os dois) para sua triagem, reciclagem e armazenamento para o futuro uso, permitindo o surgimento de uma cadeia produtiva nova na transformação do resíduo em matéria prima e na geração de lucro e emprego.

Para o CONAMA (1986), impacto ambiental pode ser causado por qualquer condição de matéria ou energia proveniente das atividades da humanidade que gere qualquer alteração, seja das propriedades químicas, físicas ou biológicas, do meio ambiente afetando indireta ou diretamente a saúde, bem-estar e segurança populacional, aos desempenhos econômicos e sociais, a biota, aos requisitos sanitários e estéticos e a qualidade dos elementos naturais ambientais.

Alípio (2010) destaca que a inadequada disposição de resíduos sólidos provoca mudanças na qualidade dos corpos de água, do ar e do solo representando, também, perigo a saúde pública.

Schneider (2003) afirma que a disposição irregular dos RCDs gera a deterioração de paisagens com a poluição visual, o comprometimento do fluxo de veículos e pedestres e um grande risco a saúde pública, podendo ser uma ameaça tanto psicológica como física. Além disso, o seu acúmulo em locais indevidos atrai resíduos não inertes se tornando nicho ecológico para muitas espécies de vetores patogênicos, como por exemplo, as baratas, moscas, ratos, fungos, bactérias e vírus.

3.2.2 Caracterização do RCD

Philippi Jr. (2005) ressalta que uma das primeiras atividades em qualquer serviço de gerenciamento de resíduos sólidos é a caracterização, na qual se define as particularidades que serão estudadas, e que se alteram em virtude dos objetivos e da origem dos resíduos. Algumas dessas características importantes são a densidade aparente, a umidade, a composição quantitativa e a caracterização química, que determinam a classificação e as condições de manuseio e operação dos mesmos.

A NBR 10004 (2014) para a classificação dos resíduos baseia-se na identificação da atividade ou processo que o deu origem e na sua constituição e características conjuntas, com a comparação destes constituintes a listagens de resíduos e substâncias cujos impactos ao meio ambiente e a saúde são conhecidos. No item 4 de sua resolução ela classifica os resíduos em:

- a) Resíduos classe I
 - Perigosos.
- b) Resíduos classe II
 - Não perigosos;
 - Resíduos classe II A: Não inertes;
 - Resíduos classe II B: Inertes.

Segundo Cabral e Moreira (2011), os resíduos de construção civil estão na classe II B, que são aqueles em que nenhum dos seus componentes se solubiliza quando tiveram contato dinâmico e estático com a água deionizada ou destilada. Porém, esta classificação muda para as classes I ou classe II A quando houver óleos, solventes, tintas e outros derivados presentes no RCD.

O art. 3º da Resolução CONAMA nº 307 (2002) já classifica os resíduos da construção civil em classe A, B, C e D sendo definidos da seguinte forma:

I - Classe A são os resíduos que podem ser recicláveis ou reutilizados como agregados;

II – Classe B são aqueles que já serão reciclados para outros destinos, como o papel/papelão;

III – Classe C são os resíduos que não possuem meios economicamente viáveis de reciclagem ou recuperação, tendo como exemplo os produtos provenientes do gesso; e

IV – Classe D, que teve alteração pela Resolução n° 348 (2004), se refere aos resíduos perigosos provenientes dos processos construtivos, como por exemplo, a tinta.

Para Latorre (2013), no sentido de normatizar a atribuição do poder público, setor privado e consumidor, foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, na qual, em cada etapa do processo produtivo, cada agente tem papel importante, que deve ser realizado de forma consciente, planejando o que fazer com os resíduos que serão gerados e verificando se existe a alternativa de reutilizá-los, reciclá-los ou não.

3.2.3 Aplicação como agregado do concreto

Fernandes (2015), em seu estudo com RCD como agregado para o concreto, concluiu que ao utilizar o resíduo em teor de 25% de substituição ao agregado natural não afeta a resistência a compressão. Porém, é necessário que este resíduo tenha um tratamento primário apropriado desde o beneficiamento e caracterização, até seu uso no concreto devido à heterogeneidade do RCD e assim, as suas propriedades ficam conhecidas não limitando sua utilização.

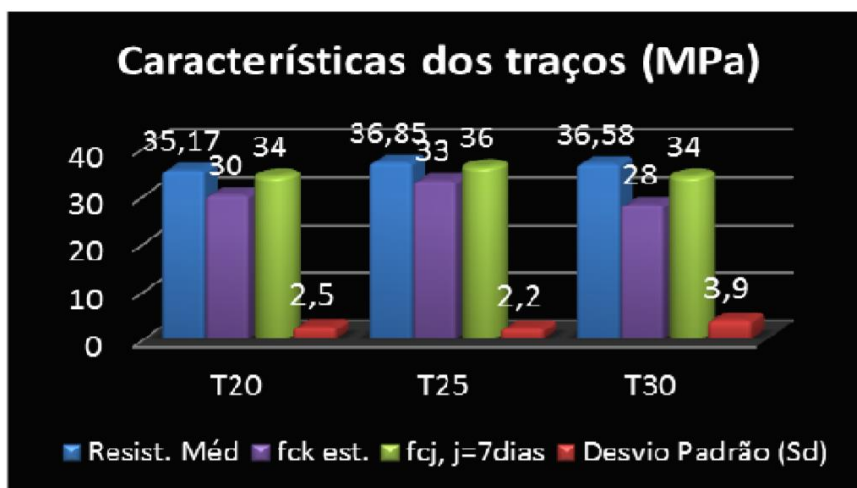
Para Konofal, Kruger e Souza (2013), existe a possibilidade de melhorar a trabalhabilidade de argamassas e concretos com a utilização de agregado miúdo de RCD, modificando somente a relação água/materiais secos e sem alteração da relação água/cimento. Entretanto, como a dimensão máxima característica do agregado graúdo de RCD é bastante alta, ainda não se alcançou boa coesão entre os constituintes do concreto e assim, recomenda-se um estudo de sua correção granulométrica, adicionando grãos mais finos e realizando controle de quantidade de material pulverulento. A resistência de concretos com RCD apresenta resultados satisfatórios, porém precisa-se de mais estudos para comprovar utilização do agregado de RCD para fins estruturais.

Na pesquisa de Assis (2015), a substituição de 100% de agregado miúdo pela fração miúda do RCD em corpos de provas moldados com concreto, apresentou bons desempenhos aos 7 dias de cura, com resistência à compressão entre 7,4 Mpa e 8,7Mpa e com resistência à tração de 5.890 kgf e 6.690 kgf. A resistência a compressão aos 28 dias alcançou 14,6 Mpa. Portanto, concretos feitos com agregados reciclados podem atingir desempenhos satisfatórios na fabricação de

concretos com função estrutural, blocos de concreto, blocos de pavimentação, entre outros.

Castro (2012), substituiu a areia comum pela areia reciclada, nas porcentagens de 20, 25 e 30% correspondentes, respectivamente, aos traços T20, T25 e T30 no concreto estrutural e obteve-se seus resultados apresentados nos gráficos das Figuras 4 e 5. Analisando os resultados, não houve queda significativa nas resistências à compressão e a tração aumentando os teores de substituição. Desta forma, mostrou-se viável estas substituições na dosagem de concretos estruturais e a existência de um potencial em substituições de porcentagens maiores.

Figura 4 - Resistências características à compressão aos 7 dias de idade



Fonte: Castro (2012).

Figura 5 - Resistências características à tração aos 7 dias de idade



Fonte: Castro (2012).

Matuella (2017) ressalta que se deve avaliar atentamente cada parte de RCD a ser explorado, sem superestimar seu comportamento, avaliando seu desempenho ao aplicá-los em campo, buscando maneiras de reduzir sua heterogeneidade. O autor verificou a capacidade dos RCD de serem usados como materiais para base de pavimentos urbanos. O RCD cinza e o RCD misto possuem potencial para suportar as solicitações do fluxo de veículos. O RCD cinza é aquele feito a partir do reparo de propriedades de material pétreo e peças de concreto e o RCD misto é formado por RCD cinza e vários teores de RCD vermelho (RCD constituído somente por material cerâmico). Portanto, fortifica-se a ideia que se pode aliar um modo de construir que contribua na redução da degradação e exploração ambiental a construção de pavimentos capacitados estruturalmente.

4 METODOLOGIA

Para desenvolver este trabalho, serão recolhidas amostras de RCD em Porto Nacional – TO e encaminhadas para o laboratório do ITPAC – PORTO.

As amostras serão separadas, classificadas e encaminhadas para moagem, no qual serão transformadas em agregados miúdos, conforme com os parâmetros obtidos de ensaios laboratoriais de caracterização para assim definir diâmetros máximo, granulometria e modulo de finura.

Os resíduos serão coletados de uma obra na cidade de Porto Nacional – TO, iremos coletar, e classifica-los em:

- Agregado reciclado de cerâmica;
- Agregado reciclado de concreto/argamassa;
- Agregado reciclado misturado (sem separação).

Será feito um comparativo entre esses três tipos de agregado reciclados para saber qual a influência de cada um na resistência do concreto.

Faremos a dosagem do concreto com objetivo de obter a resistência a compressão de 30MPa aos 28 dias, com o uso do cimento CII-E-32, de aditivos para melhoramento de suas propriedades e dosando conforme a necessidade.

4.1 MATERIAIS

Para realizar o trabalho, serão necessariamente utilizados os seguintes materiais:

- Cimento *Portland* composto com escória CII-E-32;
- Água;
- Agregado miúdo (Areia);
- Agregado graúdo (Brita);
- Aditivo superplastificante;
- Resíduo de construção civil e demolição (Agregados reciclados).

O cimento Portland foi escolhido por combinar bons resultados de baixo calor e hidratação com maior acesso na região.

O agregado miúdo utilizado será areia média com módulo de finura de 2,0 e o agregado graúdo utilizado será brita 1, com diâmetro máximo característico de 19 mm.

DNIT (2005) determina o uso do roteiro da Norma DNIT-054/2004-PRO para o estudo do mesmo e direciona que a execução, com formas fixas, de um pavimento de concreto simples convencional em que se considera a limitação em 50 milímetros de dimensão máxima característica do agregado no concreto e, em torno, de 7 centímetros o abatimento, na maioria dos casos, se tem verificado uma variação de 44% a 50% de teor de argamassa e um variação entre 7,5% e 8,5% de teor de água expressado por meio da relação água-mistura seca.

Usaremos aditivo superplastificante para manter o índice de consistência do concreto e ele será dosado de acordo com a necessidade.

Depois de coletar o material de uma construção ou demolição será feito a retirada de impurezas e logo em seguida a triagem do material que será usado, onde se separa o material cerâmico do concreto/argamassa, e, somente depois dessas etapas, passará pelo processo de moagem manual do resíduo.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Caracterização dos agregados

4.2.1.1 Granulometria

Segundo a NBR NM 248 (2003) para o ensaio de granulometria inicia-se secando as amostras de ensaio em estufa, esfriar à temperatura ambiente e determinar suas massas. Depois encaixa-se as peneiras, previamente limpas, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo e coloca-se as amostras sobre a peneira superior do conjunto, de uma maneira para evitar a formação de camada espessa de material.

Considerar o teor de materiais pulverulentos no cálculo da composição granulométrica. Promover a agitação mecânica do conjunto por um tempo de 1 minuto contínuo no qual permita a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra e que a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retirado.

A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados e em seguida remover o material retido na peneira para uma bandeja identificada. Escovar a tela em ambos os lados para limpar a peneira no qual o material removido pelo lado interno é considerado como retido (juntar na bandeja) e o desprendido na parte inferior como passante. Procede-se à verificação da próxima peneira, depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas.

Determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3 % da massa seca da amostra, que foi introduzida inicialmente no conjunto de peneiras.

Para cada uma das amostras de ensaio, calcular a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1 %. Calcular as porcentagens médias retida e acumulada, em cada peneira, com aproximação de 1%. Determinar o módulo de finura, com aproximação de 0,01. O ensaio deve consignar, para ser certificado, a porcentagem média retida em cada peneira, a porcentagem média retida acumulada em cada peneira, a dimensão máxima característica e módulo de finura e a classificação do agregado.

4.2.1.2 Massa unitária

A NBR NM 45 (2006), para o ensaio de massa unitária determina que inicialmente se faz a secagem de uma amostra com aproximadamente 150% da quantidade de material requerido para encher o recipiente de ensaio. Após isso, se determina a massa do recipiente vazio e o enche com o material em três camadas de até um terço de sua capacidade, dando 25 golpes em cada camada com uma haste distribuídos uniformemente em toda a superfície do material.

Na compactação da primeira camada, não se deve tocar o fundo do recipiente com a haste de adensamento e já nas segunda e terceira camadas, se deve evitar que a haste alcance a camada anterior. Executaremos o nivelamento da superfície com as mãos ou utilizando uma régua metálica e por fim, determina-se a massa do conjunto, recipiente mais seu conteúdo, em kg.

4.2.1.3 Massa específica

Conforme a NBR NM 52 (2009) para o ensaio de massa específica, instrui, primeiramente, pesar ($500,0 \pm 0,1$) g de amostra, colocar no frasco e registrar a massa do conjunto. Encher o frasco com água até próxima da marca de 500 ml. Movê-lo de forma a eliminar as bolhas de ar depois colocá-lo em um banho mantido a temperatura constante de $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Depois de 1 hora, aproximadamente, completar com água até a marca de 500 cm^3 e determinar a massa total com precisão de 0,1 g. Retirar o agregado miúdo do frasco e secá-lo. Esfriar à temperatura ambiente em dessecador e pesar com precisão de 0,1 g.

4.2.1.4 Impurezas Orgânicas

De acordo com NBR NM 49 (2001), para o ensaio de impurezas é preciso coletar a amostra de campo para poder separar cerca de 200 g do material, sempre que possível utilizar um material úmido. Preparar as soluções com antecedência e em quantidades suficientes para os ensaios nas quais devem ser estocadas em frascos de vidros escuros e em locais protegidos a luz solar. Adicionar o agregado a solução, agitar vigorosamente e deixar em repouso durante (24 ± 2) horas em um ambiente escuro. Com o fim desse período, filtrar a solução e avaliar a qualidade de matéria orgânica comparando a cor da solução obtida com a cor da solução padrão e anotar se a cor é mais escura, mais clara ou igual à da solução padrão.

4.2.2 Caracterização do cimento

A caracterização do cimento é realizado pelos ensaios de:

- Finura;
- Massa específica;
- Tempo de pega.

A norma DNIT-054/2004-PRO determina que o ensaio de finura do cimento Portland seja feito com o emprego da peneira nº200 (75 μm) de acordo com a NBR 11579 (1991) em que é determinada a porcentagem, em massa, de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75 μm (fração retida).

A NBR 16605 (2017) descreve o ensaio para verificação da massa específica de cimento *Portland* e outros materiais em pó, pelo frasco volumétrico de *Le Chatelier*. É colocado no frasco 250 ml de querosene, que é um líquido que não reage com o cimento, e faz a leitura na parte inferior do menisco, depois adiciona no frasco 60 g de cimento, em seguida fechar frasco, movimentar o frasco cuidadosamente para que não crie bolhas de ar, em seguida em uma superfície reta, após a decantação completa do material, é feita a leitura final. Com isso, é possível encontrar a massa específica do cimento, para determinação da dosagem.

A NBR NM 65 (2003) estabelece o método de determinação do tempo de pega da pasta de cimento *Portland* utilizando o aparelho de *Vicat*. Para essa verificação é necessário preparar a pasta com consistência normal, fazendo o enchimento dos moldes, e imediatamente após armazená-los em câmara úmida. Depois de um tempo mínimo de 30 min do enchimento do molde, colocá-lo com a placa base no aparelho de *Vicat*, situando-o sob a agulha e faz-se descer a agulha do aparelho até tocar a placa base, ajustar o indicador na marca zero ou registrar a leitura inicial. A norma prevê que o tempo de pega inicia após 60 min. A primeira agulhada é feita em 30 min após o preparo da massa, depois se reposiciona o molde a mais ou menos 10 mm de distância horizontal do último furo para realizar as demais agulhadas a cada 15 min seguindo o mesmo procedimento da primeira agulhada, até que a agulha pare entre (4 ± 1) mm da placa da base, assim finalizando o experimento e obtendo o tempo de início da pega.

4.2.3 Dosagem

Para obter os traços de concreto, será utilizado o método de dosagem criado pela Associação Brasileira de Cimento *Portland* – ABCP. O método da ABCP correlaciona a resistência à compressão característica do concreto com a relação a/c, abatimento e consumo de cimento. O estudo consiste em verificar qual o traço ideal (ISAIA, 2011).

Para determinar a resistência média de dosagem é preciso fazer o cálculo por meio da equação recomendada pela NBR 12655 (2015):

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot s_d$$

(Equação 1)

Onde:

f_{cmj} = resistência média à compressão do concreto prevista em j dias de idade, em Mpa;

f_{ckj} = resistência característica do concreto à compressão prevista em j dias de idade, em Mpa;

sd = desvio-padrão de dosagem, em Mpa.

Para determinar o traço final é preciso verificar a quantidade de argamassa seca, para encontrar um teor de argamassa ideal, verificando a trabalhabilidade e aspecto da massa, que deve apresentar coesão e fluidez (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

4.2.4 Moldagem dos corpos de prova

Serão preparados 6 corpos de prova cilíndricos de $\Phi 10 \times 20$ cm, 3 para o ensaio a compressão e 3 para o ensaio de tração, para cada traço nas idades de rompimento de 7 dias e 28 dias de cura. Se realizarão traços utilizando separadamente o agregado reciclado cerâmico, o agregado reciclado de concreto/argamassa e agregado reciclado misturado com teores de substituição de 0%, 20%, 40% e 60% nos agregados miúdo (areia). Será utilizado uma relação a/c de 0,4.

4.2.5 Ensaio de resistência a compressão

De acordo com a NBR 7215 (1996), para preparação do concreto será feito a mistura dos materiais secos em ordem de agregado graúdo, miúdo e cimento e depois coloca-se água até criar uma pasta homogênea, se necessário com a adição de aditivo plastificante.

Após a produção do concreto, é feito o teste de *slump* para a verificação de consistência pelo abatimento de tronco de cone cujo qual determinamos que esteja entre 40 a 60 mm. Este ensaio é normatizado pela NBR NM 67 (1998) que especifica seus procedimentos em umedecer o molde e a placa de base e colocar o molde sobre a placa de base. Durante o preenchimento do molde com o concreto de ensaio, o operador deve se posicionar com os pés sobre suas aletas, de forma a mantê-lo estável, encher rapidamente o molde com o concreto coletado em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado e compactar

cada camada com 25 golpes distribuindo uniformemente os golpes sobre a seção de cada camada. Se, durante a operação de compactação, a superfície do concreto ficar abaixo da borda do molde, adicionar mais concreto para manter um excesso sobre a superfície do molde durante toda a operação da camada superior, rasar a superfície do concreto com uma desempenadeira e com movimentos rolantes da haste de compactação.

A NBR NM 67 regulamenta limpar a placa de base e retirar o molde do concreto, levantando-o cuidadosamente na direção vertical. A operação de retirar o molde deve ser realizada em 5 s a 10 s, com um movimento constante para cima para não submeter o concreto a movimentos de torção lateral. Imediatamente após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado. Caso ocorra um desmoronamento ou deslizamento da massa de concreto ao realizar o desmolde que impeça a medição do assentamento, o ensaio deve ser desconsiderado e deve ser realizada nova determinação sobre outra porção de concreto da amostra.

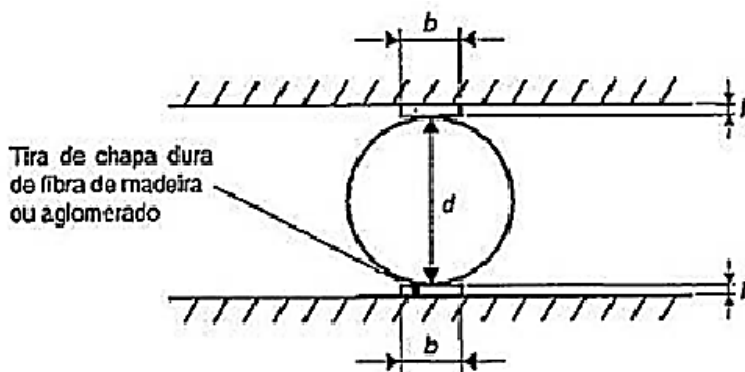
Depois de feito o *slump test* e alcançado a consistência apropriada, se faz as moldagens dos corpos de provas que serão colocados em moldes cilíndricos de dimensões com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. Em seguida, conforme a NBR 7215 (1996), será feito a cura os colocando no tanque de água com cal para suas determinadas idades de 7 e 28 dias e após esse período serão rompidos a compressão quando secos. Esse rompimento será feito colocando o corpo de prova sobre o prato inferior da prensa, centralizando o eixo do carregamento, e transferir uma carga de compressão sobre no qual se divide a carga de ruptura pela área da seção do corpo de prova resultando na resistência a compressão.

4.2.6 Ensaio de resistência a tração do concreto por compressão diametral

A NBR 7222 (2011) regulamenta o ensaio de resistência a tração do concreto por compressão diametral cujo o contato entre o corpo-de-prova e os pratos da máquina de ensaio deve dar-se somente ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas do corpo-de-prova. O ensaio consistem em colocar o corpo-de-prova, de modo que fique em repouso ao longo de uma geratriz, sobre o prato da máquina de compressão. Coloca-se entre os pratos da máquina e o corpo-de-prova

em ensaio, duas tiras de chapa dura de fibra de madeira com comprimento igual ao da geratriz do corpo-de-prova e seção transversal com as dimensões da Figura 7.

Figura 6 – Disposição do corpo de prova



Legenda:

d = diâmetro do corpo de prova, em mm;

$b = (0,15 \pm 0,01) d$, em mm

$h = (3,5 \pm 0,5)$, em mm

Fonte: Adaptado de NBR 7222 (2011).

Ajusta-se os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo-de-prova e assim, a carga deve ser aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa/s, até a ruptura do corpo-de-prova.

Para determinar a resistência tração é preciso fazer o cálculo por meio da equação 2:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 F}{\pi d l}$$

(Equação 2)

Onde:

$f_{ct,sp}$ = resistência à tração por compressão diametral, em Mpa;

F = Força máxima obtida no ensaio, em N;

d = diâmetro do corpo de prova, em mm;

l = comprimento do corpo de prova, em mm;

5 CRONOGRAMA

Quadro 3 - Cronograma do Projeto de Pesquisa

ETAPAS	Ano 2018				Ano 2019				
	<u>Ago</u>	Set	Out	<u>Nov</u>	<u>Fev</u>	Mar	<u>Abr</u>	Mai	<u>Jun</u>
ESCOLHA DO TEMA DO PROJETO DE PESQUISA									
SELEÇÃO DO PROFESSOR ORIENTADOR									
SELEÇÃO DOS ARTIGOS PARA O PROJETO DE PESQUISA									
ELABORAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA									
ENTREGA DO PROJETO DE PESQUISA									
APRESENTAÇÃO DO PROJETO PARA BANCA EXAMINADORA									
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA									
COLETA DE DADOS									
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS									
REDAÇÃO DO ARTIGO									
REVISÃO E ENTREGA FINAL DO TRABALHO									
APRESENTAÇÃO DO ARTIGO PARA A BANCA EXAMINADORA									

Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2018).

REFERÊNCIAS

- ALÍPIO, A. P. R. **Reciclagem do entulho na indústria da construção civil**. 2010. 46 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Presbiteriana Mackezine, São Paulo, 2010.
- ÂNGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- ASSIS, A. S. Utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados na produção de concretos. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2015, Ceará. **Artigo** do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.
- 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 NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003.

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

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica:** materiais, projeto, e restauração. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. ISBN: 978-85-86238-56-7.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto.** 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. ISBN: 978-85-86238-90-1.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BRASIL, Lei. Resolução CONAMA nº. 001: de 23 de janeiro de 1986. **Dispõe sobre as diretrizes,** 1986.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro, 2006, 274 p.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Pavimentos Rígidos.** Rio de Janeiro, 2005, 234 p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 431, que altera o art. 3º. da Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil,** 2011.

CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil. **Sinduscon/CE. Fortaleza,** 2011.

CARNEIRO, Alex Pires; BRUM, Irineu Antônio Schadach de; CASSA, José Clodoaldo da Silva. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção.** 1. Ed. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. ISBN: 85- 232-0226-9.

CASTRO, H. J. de M. e. Reciclagem de RCD: utilização de agregado miúdo reciclado em concreto com função estrutural. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 24., 2012, Bauru. **Resumo** do XXIV Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2013.

CUNHA, N. A. **Resíduos da construção civil - Análise de usinas de reciclagem.** 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

DEPARTAMENTO DE ESTRADA DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR 35: Pavimentação: Pavimento rígido - Especificações de serviços rodoviários.** Curitiba, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 054: DNIT. Pavimento rígido – Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 068: Pavimento Rígido - Execução de camada superposta de concreto do tipo whitetopping por meio mecânico - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2004.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Histórico do Rodoviarismo** [relatório na internet]. Rio de Janeiro; 2014. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/historico/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

FERNANDES, B. C. M. F. **A utilização de resíduos da construção civil e demolição – RCD – como agregado para o concreto.** 2015. 68 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2015.

GUERRA, Sidney. **Resíduos Sólidos.** 1. Ed. Rio de Janeiro: Forense, 2012. ISBN: 978-85-309-4014-0.

ISAIA, G. C. (Ed). **Concreto: ciências e tecnologia.** São Paulo, IBRACON, 2011.

KRUGER, P.; SOUZA, A. B.; KONOFAL, W. U. Estudo da trabalhabilidade em argamassas e concretos com utilização de RCD. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 8., 2013, Ponta Grossa. **Artigo** do 8º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais, 2013.

LATORRE, C. R. **Política nacional do resíduo sólido e a responsabilidade pós consumo nos dias atuais.** (Org.). Empresa Sustentabilidade e Funcionalização do Direito - 22 Encontro Nacional do CONPEDI. 22ed. Florianópolis: FUNJAB, 2013. v. 1, p. 366-385.

MATUELLA, M. F. **Efeitos da composição de resíduos de construção e demolição em seu comportamento mecânico para utilização em pavimentação.** 2017. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MESQUITA, J. C. L. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária.** 2001. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. ISBN: 978-85-7975-125-7.

NÓBREGA, E. S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. 2003. 365 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

OLIVEIRA, E. M. de. **Transferência dos esforços cisalhantes em juntas de pavimentos rígidos**. 2008. 248 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

OLIVEIRA, M. J. E. de. **Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem**. 2002. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

OLIVEIRA, P. L. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Revista Concreto & Construções**, São Paulo, Ano XXXVII, nº 53, p. 14-19, fev./mar. 2009.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Manole, 2005. ISBN: 978-85-204-4212-8.

PITTA, Márcio Rocha. **Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto**. 10. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. ISBN 85-87024-19-1.

RODRIGUES, J. L. A. **Conceção de pavimentos rígidos**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

RODRIGUES, Públio Penna Firme; PITTA, Márcio Rocha. Pavimento de Concreto Estruturalmente Armado. **Revista IBRACON**, São Paulo, Ano VI, nº 19, p. 15-26, set./dez. 1997.

RUFINO, D. M. S. **Estudo dos procedimentos de dimensionamento e dos novos programas de análise de tensões em pavimentos de concreto**. 1997. 436 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

SANTOS, E. C. G. dos. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SCHENEIDER, D. M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. 2003. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SCHMID, M. T. Pavimentos Rígidos em Concreto Protendido. **Rudloff Industrial Ltda.**, São Paulo, 2ª Edição, 2005. Disponível em: <<http://www.rudloff.com.br/download/>>. Acesso em: 22 set. 2018.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**: volume 1. 2.ed. São Paulo: PINI, 2007. ISBN 978-85-7266-199-7.

SEVERI, A. A. **Considerações sobre os custos de pavimentos rígidos com base em conceitos de gerência de pavimentos**. 1997. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SINDICATOS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). **Resíduos da construção civil e o estado de São Paulo**. São Paulo, 2012.

TUTIKIAN, B. F. HELENE, P. Capítulo 12. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. Concreto: Ciência e Tecnologia. IBRACON, 2011.

XEREZ NETO, Jary de. **Pavimentos de concreto para tráfego de máquinas ultrapesadas**. São Paulo: PINI, 2013. ISBN 978-85-7266-275-8.