

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CLAUDIO TEIXEIRA PAIXÃO
DIEGO GATTI

**ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE E COMPARAÇÃO DE PREÇOS PARA A
SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS POR RECICLADOS EM OBRAS
PÚBLICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA - ES**

VITÓRIA
2019

CLAUDIO TEIXEIRA PAIXÃO
DIEGO GATTI

**ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE E COMPARAÇÃO DE PREÇOS PARA A
SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS NATURAIS POR RECICLADOS EM OBRAS
PÚBLICAS DA REGIÃO METROPOLITANA DA GRANDE VITÓRIA - ES**

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito para obtenção de grau de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman

VITÓRIA
2019

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por ter sido fonte de força e fé durante a nossa caminhada;

Aos nossos pais, Luiz Claudio e Helena, Joanício e Dalzira, pelo carinho e dedicação de uma vida toda e, por estarem ao nosso lado durante a execução do projeto nos amparando e nos dando condições para seguir em frente;

Aos nossos irmãos, Juliana e Caterine, Danúbia por acreditarem no nosso potencial, mais do que nós mesmos;

Ao nosso professor orientador, Renato Ribeiro Siman, pela confiança depositada em nós e por todos os valiosos conselhos e ensinamentos;

À Renato Meira e Diogo Buarque, por aceitarem o convite para participar desta banca examinadora;

Aos companheiros de profissão, em especial Barbara Terra, Bruno Bosi, Amanda Vieira e Gustavo Ribeiro, por terem nos ajudado e compartilhado conosco conhecimento, todas as vezes que precisamos;

Aos queridos amigos da UFES, pelo companheirismo durante toda a trajetória do curso.

RESUMO

O crescimento atingido pela indústria da construção civil levou a problemas de falta de área e projetos adequados para disposição final dos resíduos gerados, tornando mais grave os problemas ambientais, principalmente se a forma e os locais a serem destinados os resíduos sólidos são inadequados (Oliveira et al., 2013). A região que mais se destaca na coleta municipal dos Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD) é a sudeste, com mais da metade de todo o volume nacional. Além disso, deve-se considerar que parte da geração é descartada incorretamente, ou seja, sem controle e, portanto, não contabilizada (ABRELPE, 2018). Visando o aproveitamento e reciclagem desses resíduos, além do manejo correto, em 2004, um total de cinco normas foram elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo que, três delas tratam dos locais de destinação desses resíduos, e as outras duas da utilização do produto da reciclagem dos RCD, chamados de agregados reciclados. Desta forma, este estudo tem como objetivo analisar a disponibilidade de RCD com potencial para a reciclagem em agregados, relacionando com o uso de agregados naturais em obras públicas. Busca-se com isso, avaliar o potencial de substituição da matéria-prima natural por reciclada, comprovando a disponibilidade de resíduos para reciclagem em volume suficiente para atender às demandas de obras do Poder Público. Foi possível observar no estudo que a geração de resíduos e demanda de agregados aumenta conforme o número de habitantes do município. Os resultados mostram que reciclando apenas 5% dos resíduos, com potencial para transformação em agregados reciclados, coletados nesses municípios, é possível suprir toda a demanda de obras públicas licitadas de pavimentação, terraplenagem e saneamento, para a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) no portal GEO-OBRAS. Mostrou também que, a substituição de todo o agregado natural utilizado por reciclado, geraria uma economia em obras públicas da RMGV de R\$ 82.468,18 por mês.

Palavras chave: Resíduos da Construção Civil e Demolição, Agregado Reciclado, reciclagem de RCD, gestão de resíduos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Marcos legais brasileiros referentes à gestão dos RCD.....	18
Figura 2 – Concentração de usinas de reciclagem por estado brasileiro.....	22
Figura 3 – Requisitos para aplicação de agregados reciclados na pavimentação.....	26
Figura 4 – Requisitos para as camadas de aplicação de agregados reciclados na pavimentação.....	27
Figura 5 – Portal GEO-OBRAS.....	29
Figura 6 – Relação entre os agregados utilizados mensalmente em obras públicas e os RCD Classe A coletados nos municípios.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações.....	15
Tabela 2 – Normas da ABNT para aplicações dos agregados reciclados.....	25
Tabela 3 – Tópicos da metodologia que atendem aos objetivos específicos....	27
Tabela 4 – Utilização de agregados naturais em obras públicas registrados pelo GEO-OBRAS total de 2008-2018.....	33
Tabela 5 – Média mensal de utilização de Agregados naturais em obras públicas registrados pelo GEO-OBRAS.....	34
Tabela 6 – Estimativa de coleta de RCD Classe A.....	35
Tabela 7 – Relação entre Agregados utilizados e coleta de RCD Classe A.....	35
Tabela 8 – Diferença de valores de aquisição de agregados naturais e reciclados.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	11
3.1.1	Definição e classificação	11
3.1.2	Aspectos Legais	14
3.1.3	Geração e composição.....	18
3.2	RECICLAGEM DE RCD	19
3.2.1	Panorama Nacional e Internacional.....	21
3.3	AGREGADO RECICLADO	22
3.3.1	Definição e Propriedades	22
3.3.2	Aplicações	25
4	METODOLOGIA	27
4.1	DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE AGREGADOS NATURAIS UTILIZADOS EM OBRAS PÚBLICAS	28
4.2	ESTIMATIVA DE COLETA DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS.....	30
4.3	ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM RELAÇÃO AOS AGREGADOS NATURAIS UTILIZADOS EM OBRAS PÚBLICAS E COMPARAÇÃO DE PREÇOS.....	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE AGREGADOS NATURAIS UTILIZADOS EM OBRAS PÚBLICAS	32
5.2	ESTIMATIVA DE COLETA DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS.....	34

5.3	ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM RELAÇÃO AOS AGREGADOS NATURAIS UTILIZADOS.....	34
6	CONCLUSÃO	36
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A construção civil no Brasil ocupa lugar de destaque na economia, com participação em 5,1% do Produto Interno Bruto (PIB) do país no ano de 2016 (CBIC, 2018). Entretanto, essa atividade resulta na geração de resíduos, os quais nem sempre têm um destino correto. Dessa forma, observa-se que esses resíduos, em muitos casos, geram passivos ambientais, resultando em diversos problemas em decorrência da falta de um gerenciamento adequado.

Nos termos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), são considerados resíduos de construção civil e demolição (RCD) os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis (BRASIL, 2010). A região que mais se destaca na coleta municipal desse resíduo é a sudeste, com mais da metade de todo o volume nacional coletado. Além dessa quantidade, deve-se considerar que parte da geração é descartada incorretamente, ou seja, sem controle e, portanto, não contabilizada (ABRELPE, 2018).

O crescimento atingido pela indústria da construção civil acabou acarretando problemas de falta de área e projetos adequados para disposição final dos resíduos gerados, tornando mais grave os problemas ambientais, principalmente se a forma e os locais a serem destinados os resíduos sólidos são inadequados (Oliveira *et al.*, 2013).

Visando o aproveitamento e reciclagem desses resíduos, além do manejo correto, um total de cinco normas foram elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 15.112/2004, NBR 15.113/2004, NBR15.114/2004, NBR 15.115/2004 e a NBR 15.116/2004. Estas abordam as diretrizes para projeto, implantação e operação das áreas de manejo, bem como o estabelecimento de requisitos para os agregados reciclados que podem ser gerados e sua aplicação em obras de engenharia. Sendo que, a última aborda especificamente a utilização dos agregados reciclados em camadas de pavimentação e em preparo de concretos sem função estrutural.

De acordo com a Pesquisa Setorial 2017/2018, da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos de Construção Civil e Demolição (ABRECON), existem 360 usinas de reciclagem de RCD no país, sendo 4 delas instaladas no Espírito Santo (ABRECON, 2019). Ainda segundo a associação, a produção média identificada foi de 290.370 m³/mês de agregados reciclados, enquanto que a capacidade máxima instalada foi de 827.720 m³/mês. A associação afirma que há um grande potencial de crescimento no setor da reciclagem de RCD no país, considerando as demandas tanto de resíduos coletados, quanto de fornecimento de agregados para o setor da construção civil, visto que atualmente o total estimado de usinas existentes no país somente atenderia a 43% da demanda por reciclagem de RCD caso estivessem funcionando em sua capacidade máxima (ABRECON, 2019).

Desta forma, este estudo tem como objetivo analisar a disponibilidade e custos de RCD com potencial para a reciclagem em agregados, relacionando com o uso de agregados naturais em obras públicas. Busca-se com isso, incentivar a substituição da matéria-prima natural por reciclada, comprovando a disponibilidade de resíduos para reciclagem em volume suficiente para atender às demandas de obras do Poder Público.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a disponibilidade de RCD com potencial para a reciclagem em agregados e relacionar com o uso de agregados naturais substituíveis por reciclados em obras públicas da Região Metropolitana da Grande Vitória.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar a quantidade de agregados naturais substituíveis por reciclados utilizados em obras públicas da Região Metropolitana da Grande Vitória;
2. Estimar a coleta de RCD com potencial para a reciclagem em agregados na Região Metropolitana da Grande Vitória;
3. Comparar a coleta estimada de RCD com potencial para a reciclagem em agregados com a quantidade de agregados naturais substituíveis por reciclados utilizados em obras públicas da Região Metropolitana da Grande Vitória;
4. Comparar os preços médios de agregados reciclados e naturais, estimando a economia, ou prejuízo, caso sejam a substituídos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

3.1.1 Definição e classificação

Em 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), definiu na NBR 10.004, definiu os resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou

exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

Ainda de acordo com essa norma, os resíduos são classificados de acordo com os riscos que traz para saúde e para o meio ambiente, podendo ser caracterizado como perigosos ou não:

- Resíduos Classe I – Perigosos: são aqueles que apresentam periculosidade ou características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, ou constem nos anexos A e B da referida norma;
- Resíduos Classe II A – não-inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou resíduos classe II B, podendo ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
- Resíduos Classe II B – inertes: são aqueles que, quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentração superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A NBR 10.004 não classifica apenas os resíduos da construção civil e demolição (RCD). Para isso, deve-se analisar a composição dos resíduos gerados, de acordo com a norma.

Uma definição mais específica sobre os RCD surgiu com a Resolução nº 307/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (Brasil, 2002), posteriormente alterada pela Resolução CONAMA nº 348/2004 (Brasil, 2004), a Resolução CONAMA nº 431/2011 (Brasil, 2011), a Resolução CONAMA nº 448/2012 (Brasil, 2012) e a Resolução CONAMA nº 469/2015 (Brasil, 2015), que definem os RCD como:

São os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos,

blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (BRASIL, 2002, p. 1).

Segundo a resolução e suas alterações, os RCD são classificados da seguinte forma:

- Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).
- Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11).
- Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04).

Dentro dessa ótica, os RCD podem ser classificados através do processo e atividade de origem, recicláveis ou não, bem como seus constituintes. Mais recentemente, a Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política

Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, definiu o termo resíduos da construção civil, em seu Artigo 13, como “os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis” (Brasil, 2010, Artigo 13, inciso I, alínea h).

3.1.2 Aspectos Legais

A Resolução CONAMA nº 307/2002 (Brasil, 2002) e suas posteriores alterações foram marcos regulatórios quanto à gestão dos RCD, estabelecendo diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD, buscando minimizar impactos ambientais. Definiram o gerenciamento resíduos sólidos como:

Conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2002, p. 2).

De forma geral, a resolução estabelece medidas a serem adotadas por grandes geradores privados de RCD e poder público, que engloba os pequenos geradores, com a intenção de reduzir os impactos ambientais causados por eles. Deve-se destacar a busca pela redução, reutilização e reciclagem por parte do gerador, que é o responsável pelo gerenciamento desses resíduos. A determinação representou um grande avanço legal e técnico, definindo as responsabilidades aos geradores, como segregação de resíduos nas classes definidas pela própria resolução e o direcionamento prioritário para a reciclagem e em última opção a disposição final ambientalmente adequada. A resolução sofreu quatro alterações, conforme a Tabela 1 – :

Tabela 1 – Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações.

Documento	Descrição
Resolução CONAMA nº 307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD.
Resolução CONAMA nº 348/2004	Altera a Resolução CONAMA no 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.
Resolução CONAMA nº 431/2011	Altera o art. 3º da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso.
Resolução CONAMA nº 448/2012	Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307 e a resolução entra em conformidade com a Lei 12.305/2010, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
Resolução CONAMA nº 469/2015	Altera a Resolução CONAMA no 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Entre as alterações vale destacar a mudança de resíduos de classe, como o gesso e as latas de tinta vazias, que foram alterados para resíduos Classe B. Além disso, o Resolução CONAMA nº 448/2012 (Brasil, 2012) atualizou as definições e outras tratativas de acordo com as novas leis federais que tratam da gestão de resíduos sólidos.

A resolução é considerada um instrumento para a implementação da gestão dos RCD, a partir dos Plano de Gestão de Resíduos da Construção Civil, que deve ser elaborado pelos poderes municipais, estaduais e federais. Em destaque, o plano deve conter as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas, o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo, as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos e as ações

educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação (BRASIL, 2002).

Além disso, devem estar contidas as diretrizes para elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que são de responsabilidade dos grandes geradores, como grandes empresas de construção civil e empreendimentos, colocando em prática as responsabilidades de todos os geradores. Etapas como caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação devem ser previstas e o objetivo é estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos RCD, seguinte como prioridade a reutilização e reciclagem.

Em 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Assim como o Decreto no 7.404/2010 (BRASIL, 2010), que regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências. Esse marco legal na gestão dos resíduos no Brasil, contém diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos e reúne as ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares neste sentido (BRASIL, 2010). A PNRS surgiu como alicerce legal brasileiro em decorrência de várias outras legislações que visam a proteção do meio ambiente. A partir desse marco legal, uma nova perspectiva foi apresentada ao cenário nacional, já que a lei visa a regulamentação da gestão adequada dos resíduos, além de incluir questões para o desenvolvimento econômico, social e ambiental.

Unindo forças Resolução CONAMA nº 307/2002, a PNRS estabeleceu que devem ser elaborados planos estaduais de resíduos sólidos, contendo a gestão dos RCD, com vigência por prazo indeterminado, abrangendo todo o território do estado, com horizonte de atuação de vinte anos e revisões a cada quatro anos, e tendo como conteúdo destaque para a gestão dos RCD: diagnósticos da região, proposição de cenários, metas de redução, reutilização, reciclagem, metas para a eliminação e recuperação de lixões. Em relação aos planos de

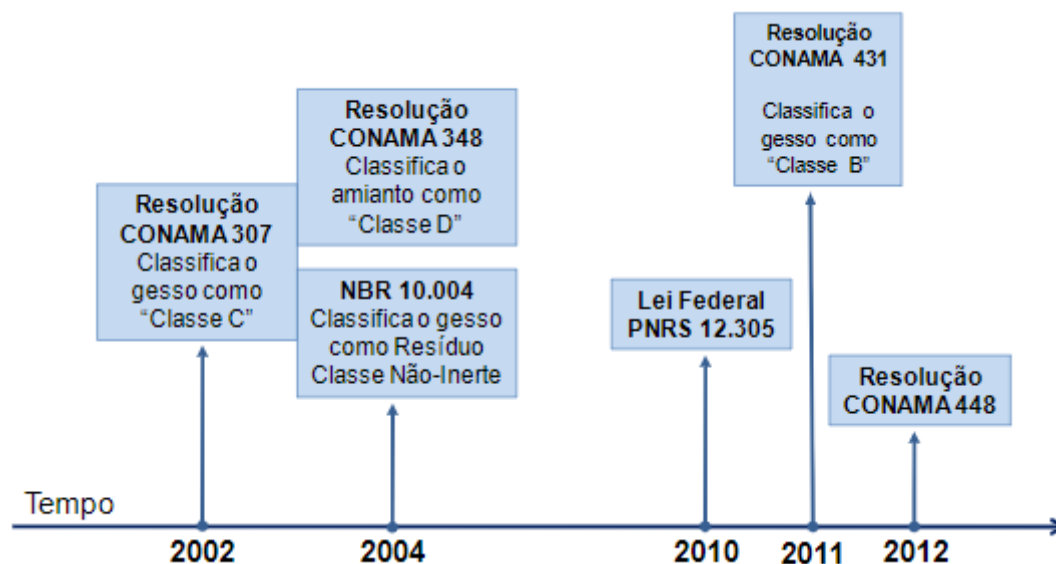
gerenciamento para os grandes geradores, regidos pelas normas estabelecidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente - Sisnama, vale destacar que estão sujeitos a elaboração do plano empresas de construção civil (Brasil, 2010).

As principais diretrizes da PNRS em relação aos RCD são (Brasileiro; Matos, 2015, p. 183):

- Eliminação de áreas irregulares de disposição final de RCD em todo o território nacional;
- Implantação de áreas de transbordo e triagem, de reciclagem e de reservação adequada de RCD em todo o território nacional;
- Realização de inventário de resíduos de construção civil;
- Incremento das atividades de reutilização e reciclagem do RCD nos empreendimentos públicos e privados em todo o território nacional;
- Fomento a medidas de redução da geração de rejeitos e resíduos de construção civil em empreendimentos em todo o território nacional.

Segundo Brasileiro e Matos (2015), uma das metas mais promissoras da PNRS era o fechamento de áreas irregulares de disposição final, os conhecidos “lixões”, muito influenciados pelos RCD, até o ano de 2014. Porém, segundo os autores, a maioria dos municípios brasileiros não cumpriu essa determinação. De forma geral, pode-se observar os marcos legais brasileiros, em relação à gestão dos RCD, conforme a Figura 1:

Figura 1 – Marcos legais brasileiros referentes à gestão dos RCD.



Fonte: Kochem (2016).

3.1.3 Geração e composição

De acordo com a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2018), os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de toneladas de RCD somente no ano de 2017. A região com maior quantidade coletada foi a Sudeste, apresentando um índice de 0,737 kg/hab/dia. Em comparação com os Estados Unidos, em que estima-se que os RCD correspondam de 10 a 30% do total de resíduos gerados (COELHO; BRITO, 2011), atualmente, os RCD no Brasil representam aproximadamente 57% de todo o RSU coletado anualmente no Brasil e são oriundos de demolições, reformas e de novas construções (ABRELPE, 2018). Em pesquisas elaboradas pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2009, também foi confirmado que, no Brasil, os RCD podem representar de 50 a 70% da massa dos RSU (IPEA, 2012). Entretanto, a tarefa de quantificação de geração é especialmente difícil no Brasil, já que, diferentemente de outros países, uma importante fonte na geração de RCD são os pequenos geradores informais, para os quais dados estatísticos estão

indisponíveis e podem representar uma parcela importante, segundo o Ministério do Meio Ambiental (BRASIL, 2010). De acordo com Bohnenberger *et. al.* (2018) o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2016 da ABRELPE mostra apenas os dados para coleta de RCD, não definindo portanto a geração total de RCD no país, mostrando a dificuldade de se quantificar esse valor.

O estudo realizado por Ramos (2007) com os RCD coletados pela prefeitura de Vitória, no Espírito Santo, mostrou que na classificação segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002, a composição gravimétrica dos RCD apresentou percentuais médios em peso de 79,23% da Classe A, 6,46% da Classe B, 0,98% da Classe C, 0,63% da Classe D e 12,21% da Classe Resíduos volumosos. e o peso específico aparente estimado foi de 0,6604 ton/m³. Ou seja, a maior parte dos RCD da cidade são compostos por resíduos passíveis de reutilização ou reciclagem como agregados para a construção civil.

Segundo Morand (2016) a caracterização dos RCD é imprescindível para definir onde o resíduo qual o tratamento que deve ser realizado, e onde deve ser destinado, para viabilizar a reutilização e reciclagem. Conforme Silva *et. al.* (2014), o RCD é produzido por um setor que utiliza diferentes técnicas de produção e que o controle da qualidade do processo produtivo é recente. Com isso, características do material, como composição e quantidade produzida, dependem do estágio de desenvolvimento da indústria local, o que envolve qualidade da mão de obra, técnicas construtivas empregadas, adoção de programas da qualidade, entre outros.

De acordo com Santos (2007) a caracterização mais comum dos RCD é realizada a partir da análise da participação de solos, rochas, concretos, argamassas, cerâmicas, gesso, madeira, plásticos, metais, entre outros materiais. Segundo Angulo (2005) a caracterização levando em consideração a densidade é um critério mais interessante, já que se relaciona com propriedades físicas dos agregados de RCD reciclados, sua porosidade, e resistência mecânica e durabilidade dos concretos.

3.2 RECICLAGEM DE RCD

A reciclagem dos RCD é utilizada como alternativa para minimizar os problemas oriundos desses materiais, principalmente quando dispostos de forma inadequada. Além disso, incluem benefícios como a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, pois podem ser substituídos pelos reciclados, o aumento da vida útil dos aterros e redução do consumo de energia durante o processo produtivo dos agregados para a construção civil. (OLIVEIRA, 2007). Os RCD quando selecionados e classificados, podem se transformar em agregados para utilização em aterros ou concretos de baixa resistência, entre outros (MARQUES NETO & SCHALCH, 2010).

Segundo Rocha (2006), uma usina de reciclagem utiliza equipamentos como: pá-carregadeira, alimentador vibratório, britador (que pode ser de impacto ou de mandíbula), eletroímã para separação das ferragens, peneiras, mecanismos transportadores, e, eventualmente, sistemas para eliminação de contaminantes.

Normalmente, nas usinas nacionais as operações são de cominuição, diminuição de dimensão característica, de separação por tamanho de grãos, e o peneiramento. A triagem manual dos materiais graúdos pode resultar em 3,5% da massa em materiais não minerais. Nas operações dos países em que a reciclagem já é desenvolvida, como na Alemanha, a triagem é realizada por via úmida, o que a torna muito mais eficiente, diferente do Brasil, onde geralmente é realizada por via seca. (ÂNGULO, 2005). Segundo Manfrinato, *et al.* (2008), o valor economizado com a área de aterro de resíduos, somado a venda de agregados reciclados, garante a viabilidade econômica desse tipo de projeto.

A norma da NBR 15.114 (ABNT, 2004) fixa os requisitos mínimos para o projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de RCD Classe A. Essa norma estabelece os critérios desde a fase de implantação ao Controle de Transporte de Resíduos (CTR), para os resíduos que serão recebidos na unidade. De acordo com a norma, ela se aplica e serve de apoio:

Na reciclagem de materiais já triados para a produção de agregados com características para a aplicação em obras de

infra-estrutura e edificações, de forma segura, sem comprometimento das questões ambientais, das condições de trabalho dos operadores dessas instalações e da qualidade de vida das populações vizinhas (BRASIL, 2004, p. 1).

A norma elaborada pela ABNT serve de base para o licenciamento de empreendimentos nesse setor em todo o Brasil e os projetos normalmente devem atender a seus critérios.

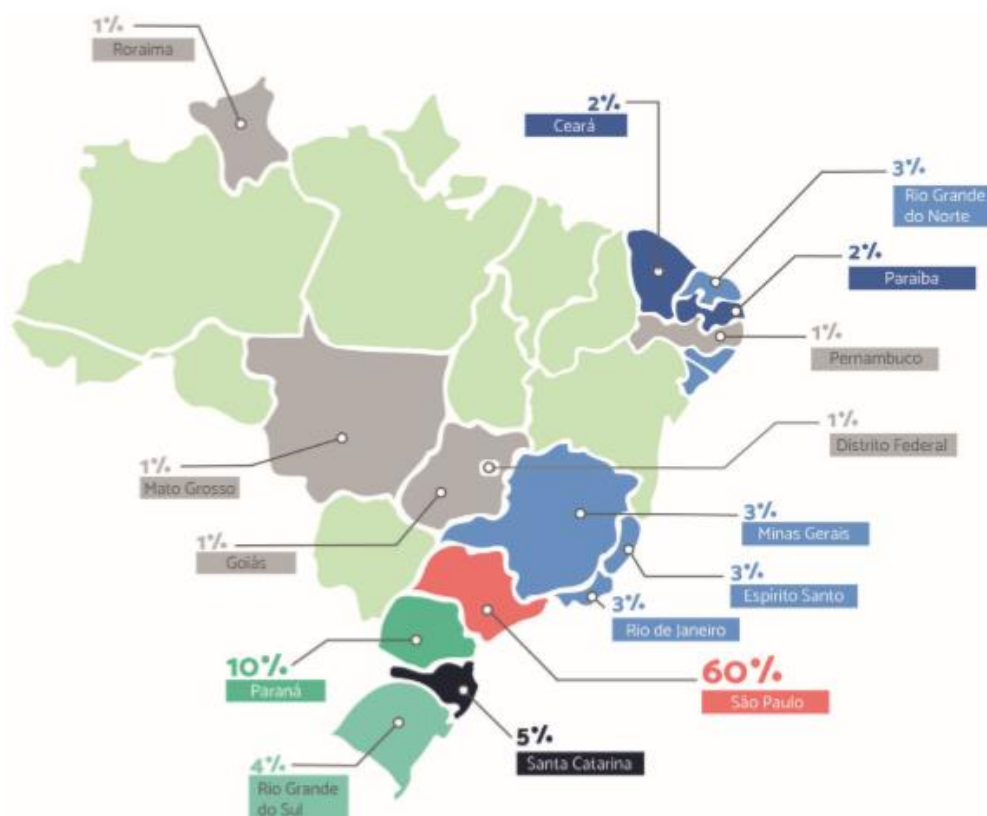
3.2.1 Panorama Nacional e Internacional

De acordo com Ângulo (2005), países como a Alemanha, Dinamarca e Holanda apresentam índices de reciclagem de RCD entre 50% e 90%. Levando em consideração o avançado estágio que se encontra a Alemanha, foi constatado que existem cerca de 4600 usinas de reciclagem de RCD. (Miranda et al, 2009). Em estudo realizado pelo autor foram avaliadas usinas em funcionamento no Brasil. Neste trabalho foi constatado que no ano de 2002 havia apenas 16 usinas instaladas em todo o território nacional. Porém, após a resolução CONAMA 307/2002, ocorreu uma mudança no cenário. Antes da resolução três novas usinas por ano eram criadas, posteriormente a publicação da resolução, esta taxa chegou a nove usinas por ano até 2008.

Em 2013, após a PNRS, divulgada em 2010, a Pesquisa Setorial da Abrecon, avaliou que de 2008 a 2013, esta taxa continuou aumentando, chegando a 10,6 usinas novas por ano. Em 2014, a Pesquisa Setorial (ABRECON, 2014), divulgou que entre 2013 e 2015 houve uma estabilidade na quantidade de usinas instaladas por ano. O Estado de São Paulo é o que possui o maior número de usinas instaladas, seja pela maior atividade de construção civil que gera maior volume de RCD ou por outros fatores, como o preço mais elevado dos agregados naturais ou maior fiscalização quanto à destinação do RCD. Entretanto, comparativamente aos resultados de 2013, a representatividade do estado de SP caiu de 58% para 54%, enquanto houve um aumento de 3% para 7% no Estado do Rio de Janeiro (ABRECON, 2016). Miranda et al. (2009) também indicou que, inicialmente, a maior parte das usinas era pública. Após 2002, este quadro mudou e, em 2008, cerca de metade das usinas já pertencia

à iniciativa privada. Na Pesquisa Setorial de 2018, a Abrecon informou que existem 360 usinas de reciclagem em todo o território nacional. Foi observado um retorno do crescimento do setor entre os anos de 2015 e 2017, que representa uma taxa de crescimento de 10,5 usinas de reciclagem por ano (ABRECON, 2019), concentradas pelo território brasileiro de acordo com a Figura 2.

Figura 2 – Concentração de usinas de reciclagem por estado brasileiro.



Fonte: Pesquisa Setorial ABRECON 2018 (ABRECON, 2019).

3.3 AGREGADO RECICLADO

3.3.1 Definição e Propriedades

Segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 (Brasil, 2011), a definição de Agregado Reciclado é:

O material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a

aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia (BRASIL, 2002, p. 2).

Definição que vai ao encontro da NBR 15.115 (ABNT, 2004) que diz que é um material granular, proveniente de resíduos Classe A, e que apresenta características técnicas descritas na norma para aproveitamento em certos tipos de obras.

Conforme a norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), os agregados reciclados podem ser divididos em duas categorias, com composições diferentes:

Agregado de resíduo de concreto (ARC): é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, composto na sua fração graúda, de 90% ou mais em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada conforme o anexo A da ABNT NBR 15116:2004 e atender aos requisitos das aplicações específicas;

Agregado de resíduo misto (ARM): é o agregado reciclado obtido do beneficiamento de resíduo de classe A composto na sua fração graúda por menos de 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Sua composição deve ser determinada da mesma forma que a do ARC (BRASIL, 2004, p. 3).

Pela grande variabilidade na composição, os RCD podem apresentar diferentes percentuais de constituintes em massa. Essa variabilidade afeta as suas características como agregado na confecção de argamassas e concretos, com destaque para a granulometria, absorção de água e massa específica (ÂNGULO, 2002). Segundo Nagalli (2014) os diferentes materiais dos resíduos de construção, além dos resíduos de demolição, requerem um tratamento especial, pois geralmente seus geradores não possuem qualquer influência sobre o processo de associação que acontece entre os resíduos. Esses tipos de resíduos, uma vez misturados, tornam-se de difícil separação.

A massa específica de um agregado está ligada e é um resultado que depende da porosidade. Comprovado por Ângulo (2002) em estudos realizados na usina de Santo André–SP, observou-se uma considerável variabilidade, quando os agregados que apresentam alta taxa de absorção de água, são os mesmo que tendem a apresentar massa específica com valores menores. Ainda, segundo Cabral (2007) quando se compara os agregados reciclados com os de origem natural, pode-se observar que a sua trabalhabilidade é afetada chegando a apresentar resultados menores, o que pode ser explicado pelo fato de que os agregados reciclados são mais secos que os normais, ocasionando uma maior absorção de água, fazendo com que o resultado final apresente um material com uma mistura mais seca pelo fato dos agregados retirarem a água do processo, o que provoca uma menor trabalhabilidade do conjunto. O autor também destaca que um dos fatores que podem explicar essas características apresentadas nos materiais com agregado reciclado é o tipo de britagem do processo, que pode causar uma formação de agregados com extremidades angulares, fator que não é característico em materiais naturais que são arredondados e com uma superfície lisa.

Dados demonstrados por Cabral (2007), mostram que a resistência de concretos naturais chega a superar os produzidos com matéria prima reciclável em até 45%, então pode-se dizer que em relação a esta diferença de dados esta relacionado ao processo de britagem, assim como a origem do material, além da qualidade do material principalmente o cimento, pois originar o surgimento de vazios que conseqüentemente comprometem a sua resistência.

Quando se cita a abrasão dos materiais, se diz ao respeito ao que podemos falar como sendo a capacidade do agregado em se fragmentar quando o mesmo é colocado em contato com outro material CARRIJO (2005). Leite (2001) considera que os agregados reciclados apresentam uma resistência ao contato e impacto menor, gerando um maior desgaste por abrasão quando comparado aos naturais.

3.3.2 Aplicações

Na Europa, em países como Alemanha, Dinamarca, Suíça e Holanda, a reciclagem representa entre 50% e 90% de todo o RCD gerado (ÂNGULO, 2005). Apesar disso, o índice de substituição de agregados naturais por reciclados é menor que 20%. Esse valor indica que a maior parte da utilização desse material é em obras de terraplenagem, regularização e nivelamento de terrenos ou aterramento (MUELLER, 2007). Estudos mostram que os concretos produzidos de agregados reciclados não apresentam a resistência dos provenientes de matérias-primas naturais, demonstrando sua maior viabilidade na aplicação em bases granulares (CHO & YEO, 2003). Segundo Lima (2008) os RCD podem ser empregados em diversas áreas, se reciclados, e uma das aplicações é a execução de camadas em estruturas de pavimentos. O estudo de Queiroz & Melo (2010) mostrou que os agregados reciclados provenientes dos RCD do município de João Pessoa/PB apresentaram viabilidade técnica para serem aplicados em reforço de subleito de pavimentos urbanos. Os resíduos podem apresentar ganho de resistência ao longo do tempo, o que contribui ainda mais para a sua aplicação em camadas de pavimentos. No Brasil, a ABNT elaborou duas normas que apontam as limitações e aplicações de forma correta, conforme mostra a Tabela 2:

Tabela 2 – Normas da ABNT para aplicações dos agregados reciclados.

Documento	Descrição
NBR 15.115 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de RCD – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos: estabelece critérios para execução de camadas de reforço de subleitos, sub-base e bases de pavimentação, bem como para camadas de revestimento com a utilização de agregados provenientes dos RCD;
NBR 15.116 (ABNT, 2004)	Agregados reciclados de RCD - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos: estabelece critérios para utilização de resíduos reciclados em obras de pavimentação, bem como, critérios necessários para a reutilização dos resíduos como agregado para preparo de concretos sem função estrutural.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo norma NBR 15.116 (ABNT, 2004), o agregado reciclado pode ser utilizado em pavimentação, desde que proveniente de material classe A e atenda aos requisitos descritos na Figura 3:

Figura 3 – Requisitos para aplicação de agregados reciclados na pavimentação.

Propriedades		Agregado reciclado classe A		Normas de ensaios	
		Graúdo	Miúdo	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Composição granulométrica		Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$		ABNT NBR 7181	
Dimensão máxima característica		≤ 63 mm		ABNT NBR NM 248	
Índice de forma		≤ 3	-	ABNT NBR 7809	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm		Entre 10% e 40%		ABNT NBR 7181	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)	Materiais não minerais de mesmas características*	2		ABNT NBR 15116	
	Materiais não minerais de características distintas*	3		ABNT NBR 15116	
	Sulfatos	2		ABNT NBR 9917	
* Para os efeitos desta Norma, são exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.					

Fonte: NBR 15.116 (ABNT, 2004).

Além disso, a mesma norma estabelece requisitos para as camadas da pavimentação, conforme a Figura 4:

Figura 4 – Requisitos para as camadas de aplicação de agregados reciclados na pavimentação.

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento*	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada
*Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto			

Fonte: NBR 15.116 (ABNT, 2004)

Sobre o comportamento mecânico de agregados reciclados em camadas de base e sub-base de pavimentação, em seu trabalho científico LEITE (2007) realizou o estudo de caso da pavimentação de um campus da Universidade de São Paulo (USP Leste), um total de dois quilômetros de via pavimentada, onde um trecho de 1.020 metros foi analisado na pesquisa. O agregado reciclado foi utilizado em diferentes seções que incluem base, sub-base e reforço de sub-leito. Propriedades físicas e mecânicas do agregado reciclado utilizado foram submetidas à análises laboratoriais. O resultado da pesquisa mostrou que a utilização do agregado reciclado depende de uma compactação adequada e que quando submetido a essa compactação, o reciclado se comporta da mesma forma que o agregado natural, atendendo aos requisitos normativos. O autor GRUBBA (2009) analisou as propriedades físicas e mecânicas do agregado reciclado de concreto (ARC) da Usina de Reciclagem de São Carlos-SP. Foram realizados ensaios de caracterização física, lixiviação, solubilização, compactação, Índice Suporte California (CBR), compressão simples, compressão diametral e triaxial cíclico. Também foram realizados os testes em agregados naturais, a título de comparação. Os resultados mostraram que o agregado reciclado apresentou comportamento mecânico muito próximo ao natural. O concreto produzido com agregado reciclado apresentou um ganho considerável de resistência e rigidez com o decorrer do tempo de cura.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os aspectos referentes à metodologia de pesquisa utilizada no desenvolvimento desta dissertação. A tabela 3 mostra a metodologia que atende ao objetivo específico:

Tabela 3 – Tópicos da metodologia que atendem aos objetivos específicos.

Objetivo Específico	Metodologia
1	4.1
2	4.2
3	4.3
4	4.3

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE AGREGADOS NATURAIS UTILIZADOS EM OBRAS PÚBLICAS

Sendo o objeto de estudo a viabilidade da utilização de agregados reciclados da construção civil como substitutos para os agregados naturais já utilizados em obras públicas da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), inicialmente foram coletados os dados relacionados à utilização desses agregados naturais nas obras licitadas no período de 2008 até 2018.

A amostra foi obtida a partir da disponibilidade de dados, que corresponde às informações que os municípios da RMGV divulgaram no portal GEO-OBRAS. A partir dos arquivos obtidos no website <<https://geoobras.tce.es.gov.br/>>, foi possível visualizar dados das obras licitadas como: município, tipo de obra, número do contrato, ano de início e prazo, valor total da obra, tipo e quantidade de agregado utilizado.

No modo de consulta de obras públicas do GEO-OBRAS, na opção “Cidadão”, foi possível filtrar as opções para obter as informações desejadas, como mostra a Figura 5:

Figura 5 - Portal GEO-OBRAS.



The image shows a screenshot of the 'Geo-Obras' portal interface. At the top, there is a dark blue header with the logo of 'TCEES Tribunal de Contas Estado do Espírito Santo' on the left and 'Geo-Obras' on the right. Below the header, the page title is 'CONSULTA DE OBRAS PÚBLICAS'. The main content area features a map of the state of Espírito Santo with a red location pin. Below the map, there is a search form with the following fields and options:

- Início da Obra:** Two dropdown menus, both set to 'Todos'.
- Tipo de Obra:** A dropdown menu set to 'Todos'.
- Setor Beneficiado:** A dropdown menu set to 'Todos'.
- Situação da Obra:** A dropdown menu set to 'Todos'.
- Contrato:** A text input field.
- Órgão Público:** A dropdown menu with the placeholder text 'Digite o órgão público desejado!'.
- Município:** A dropdown menu with the placeholder text 'Digite o município desejado!'.
- Empresa Contratada:** A text input field.
- Bem Público:** A text input field.
- Obras com prazos vencidas e não concluídas.

At the bottom of the form, there is a red warning message: 'Para consultar seleccione/preencha pelo menos um dos campos que contém *.' and a blue button labeled 'Consultar' with a magnifying glass icon.

No campo “Início da Obra”, foi selecionado o filtro para 2008 até setembro de 2018. Com isso, todas as obras públicas licitadas nos últimos dez anos foram

filtradas nas pesquisas. Para o campo “Tipo de Obra”, a escolha dos filtros se baseou nas obras que tem maior potencial de utilização de agregados reciclados, como as que envolvem terraplenagem, pavimentação e obras de saneamento. Com isso, foram filtradas as opções: Adutora, Aeroporto, Aterro Sanitário, Canal, Drenagem Urbana, Módulo Sanitário, Rede de Coleta de Esgoto, Rede de Distribuição de Água, Rodovia Não Pavimentada, Rodovia Pavimentada, Via Urbana Não Pavimentada, Via Urbana Pavimentada, Via Urbana a Ser Pavimentada, Rede Coletora de Esgoto, Esgotamento Sanitário, Estrada Vicinal Não Pavimentada, Estrada Vicinal Pavimentada, Drenagem de Águas Pluviais, Ruas e Avenidas. Em “Situação da Obra”, foram filtradas três situações distintas em que a obra foi considerada concluída: “Concluída e não recebida”, “Concluída e recebida provisoriamente” e “Concluída e recebida definitivamente”, onde somente no último caso, já ocorreu todo e qualquer reparo solicitado pelo ente público e a obra já foi entregue em adequação com o propósito inicial. No campo de “Municípios”, foram selecionadas todas as opções que correspondem aos municípios da RMGV, ou seja, Cariacica, Fundão, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória. Os campos que não foram citados, nenhum tipo de filtro foi utilizado.

Com os filtros devidamente selecionados, o resultado das consultas foram obras com o potencial de utilização do agregado reciclado como matéria-prima. Ao selecionar uma dessas obras na plataforma GEO-OBRAS, foi possível ter acesso aos documentos correspondentes a todas as fases da obra, desde o processo de licitação até a conclusão do empreendimento. O documento utilizado para obtenção dos dados foi a “Planilha de Orçamento do Licitante Vencedor”, elaborada pela empresa que realizou a obra, com o levantamento da quantidade de materiais previstos. Em cada um desses documentos foram analisados os produtos com as palavras-chave “areia”, “brita” e “solo-brita”, com a finalidade de filtrar os agregados naturais contidos. A descrição completa do produto e a quantidade utilizada foram registradas em uma planilha eletrônica por meio do software Excel, junto com as outras informações já citadas anteriormente, como município e número do contrato.

Os dados obtidos foram organizados de forma que para cada obra encontrada pudesse ser identificado o município, o tipo de obra, o número do contrato, o ano de início, o prazo da obra, o valor total da obra, o produto, a unidade de medida do produto e a quantidade utilizada do produto.

Para determinação da quantidade de agregados naturais utilizados em obras públicas da RMGV, foi realizado no software Excel, o somatório em metros cúbicos dos valores coletados dos produtos, esse somatório foi dividido pelos dez anos de pesquisa, e por doze meses do ano, obtendo assim uma média mensal, identificada pela variável $Agregados_{RMGV}$.

4.2 ESTIMATIVA DE COLETA DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS

Para definir a estimativa de coleta de resíduos com potencial para a produção de agregados reciclados da RMGV, foi realizada a estimativa da coleta de RCD Classe A, com o objetivo de verificar a disponibilidade de resíduos coletados na região passíveis de serem transformados em agregados reciclados, ou seja, qual o potencial de produção de agregados reciclados da região. Para isso, foi utilizado o índice de coleta de resíduos da construção civil por habitante para a região sudeste do Brasil, divulgado no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017 da ABRELPE (2018). Em conjunto, foram empregados os dados de população estimada em 2018 dos municípios da RMGV, disponibilizados pelo IBGE (2019). O percentual de resíduos Classe A dentre os RCD coletados, apresentados por Ramos (2007), para o município de Vitória, foi aplicado para todos os municípios estudados neste trabalho.

Com esses dados, é possível estimar a coleta de RCD Classe A da RMGV, a partir da Equação 1:

$$RCD_A = População \times \text{Índice de Coleta RCD} \times \text{Percentual "Classe A"} \quad (1)$$

Onde, RCD_A é o fator que representa, neste estudo, o potencial de produção de agregados reciclados da região.

4.24.3 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM RELAÇÃO AOS AGREGADOS NATURAIS UTILIZADOS

Para a análise da disponibilidade dos resíduos Classe A em relação a média da quantidade de agregados naturais utilizados nos últimos dez anos de pesquisa em obras públicas da RMGV, foi estabelecida a Equação 2:

$$Disp = \frac{Agregados_{RMGV}}{RCD_A} \quad (2)$$

Já para a realização da comparação de preços foram observadas as médias dos valores de aquisição de agregados naturais e reciclados. Para os naturais, foram utilizadas as médias dos preços dos produtos “AREIA PARA ATERRO”, “PÓ DE PEDRA”, “BRITA” e “SOLO BRITA”, fornecidos pelo Instituto de Obras Públicas do Estado do Espírito Santo (IOPES), autarquia estatal que realiza estudos, como a Tabela de Custos Referenciais, em obras do estado do Espírito Santo. Já para os agregados reciclados, foi utilizado o valor de venda desses produtos informado pela maior parte das usinas de reciclagem brasileiras, de acordo com a pesquisa setorial da ABRECON (2019).

A comparação foi realizada de acordo com a Equação 3:

$$D_{nr} = (Média_n - Média_r) \times Agregados_{RMGV} \quad (3)$$

Onde,

D_{nr} = Diferença entre os custos de aquisição dos agregados naturais e reciclados;

$Média_n$ = Média dos valores de compra dos produtos naturais (R\$/m³);

$Média_r$ = Média dos valores de compra dos produtos reciclados (R\$/m³);

$Agregados_{RMGV}$ = Quantidade de agregados naturais utilizados em obras públicas da RMGV (m³).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse item, são apresentados os dados coletados e discutidos os valores obtidos para os agregados naturais utilizados em obras e sua possível substituição pelos reciclados.

4.35.1 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE AGREGADOS NATURAIS UTILIZADOS EM OBRAS PÚBLICAS

Com os dados obtidos através da plataforma GEO-OBRA e com o uso do software Excel, foram somadas as quantidades de agregados naturais utilizados nos tipos de obras públicas listados na metodologia e obtida a média mensal dos últimos dez anos, representada por *Agregados_{RMGV}* conforme mostra a Tabela 4:

Tabela 4 – Utilização de agregados naturais em obras públicas registrados pelo GEO-OBRA total de 2008-2018.

Município	População (hab.)	Número de Licitações de Obras	Quantidade (m ³)	Média (m ³)	Desvio Padrão (m ³)
Cariacica	378.603	23	63.991,55	2.782,24	3.945,39
Fundão	21.061	9	5.835,43	648,38	557,17
Guarapari	122.982	24	32.287,13	1.345,30	2.996,55
Serra	507.598	27	68.526,28	2.538,01	6.428,39
Viana	76.954	1	14.965,03	14.965,03	-
Vila Velha	486.208	46	65.386,32	1.421,44	2.437,78
Vitória	358.267	58	75.291,84	1.298,14	2.196,72
Total	1.951.673	188	326.283,60	1.735,55	3.596,15

A Tabela 4 mostra que os quatro municípios da RMGV que possuem maior população, são justamente aqueles que apresentam maior número de licitações de obras registradas e mais número total de agregados utilizados. Juntos, os municípios de Cariacica, Serra, Vila Velha e Vitória possuem 89% dos habitantes da RMGV, segundo a estimativa do IBGE (2018), apresentam

82% do número total de obras públicas registradas na região e 84% do número total de agregados naturais utilizados.

Em relação à média de agregados por obra, pode-se notar que para o município de Viana, o valor obtido foi muito acima da média dos outros municípios da RMGV. Isso pode ser explicado pelo fato de o município ter englobado diversas obras em apenas uma licitação, sendo assim, o número real de obras realizadas é diferente do obtido em estudo.

O desvio padrão do consumo de agregados por obra mostra um grande grau de dispersão dos dados obtidos, o que era esperado, pois o Poder Público realiza obras que vão desde obras de pequeno porte, com baixo consumo de agregados, como pequenas estradas vicinais, até obras de grande porte, que possuem um consumo muito maior, como as ruas e avenidas que atravessam as cidades.

Com relação à variável *Agregados_{RMGV}*, que representa a média mensal de utilização dos agregados, foram obtidos os valores conforme a Tabela 5:

Tabela 5 – Média mensal de utilização de Agregados naturais em obras públicas registrados pelo GEO-OBRAS.

Município	<i>Agregados_{RMGV}</i> (m³/mês)
Cariacica	533,26
Fundão	48,63
Guarapari	269,06
Serra	571,05
Viana	124,71
Vila Velha	544,89
Vitória	627,43
Total	2.719,03

Em média, foram utilizados 2.719,03 metros cúbicos de agregados naturais por mês em obras públicas nos últimos dez anos, registradas pelo GEO-OBRAS, na RMGV. Assim como a Tabela 4, os dados da Tabela 5 mostram que os municípios com maior número de habitantes possuem maior média de agregados por mês.

4.45.2 ESTIMATIVA DE COLETA DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS

A média de coleta de RCD na região Sudeste no ano de 2017, foi de 0,737 kg/hab/dia (ABRELPE, 2018). Para obter uma média mensal, o valor foi multiplicado por 30 dias, resultando em 22,11 kg/hab/mês, que equivale a 0,02211 ton/hab/mês. Segundo Ramos (2007), a composição gravimétrica dos RCD do município de Vitória-ES é de 79,23% do total classificados como Classe A, e o peso específico aparente estimado foi de 0,6604 ton/m³. Em relação à população da região, foram utilizados os dados da estimativa do IBGE (2018). Todos esses valores foram utilizados para estimar a geração dos RCD Classe A (RCD_A) dos municípios da RMGV, conforme a Tabela 6:

Tabela 6 – Estimativa de coleta de RCD Classe A.

Município	População	Estimativa de Coleta de RCD (ton/mês)	RCD_A (m³/mês)
Cariacica	378.603	8.370,91	10.042,81
Fundão	21.061	465,66	558,66
Guarapari	122.982	2.719,13	3.262,22
Serra	507.598	11.222,99	13.464,54
Viana	76.954	1.701,45	2.041,28
Vila Velha	486.208	10.750,06	12.897,14
Vitória	358.267	7.921,28	9.503,38
Total	1.951.673	43.151,49	51.770,03

De acordo com a estimativa, a RMGV coleta por mês 51.770,03 toneladas de RCD Classe A, ou seja, resíduos que possuem potencial para a produção de agregados reciclados, representados por RCD_A nesse trabalho.

4.55.3 ANÁLISE DA DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS COM POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS EM RELAÇÃO AOS AGREGADOS NATURAIS

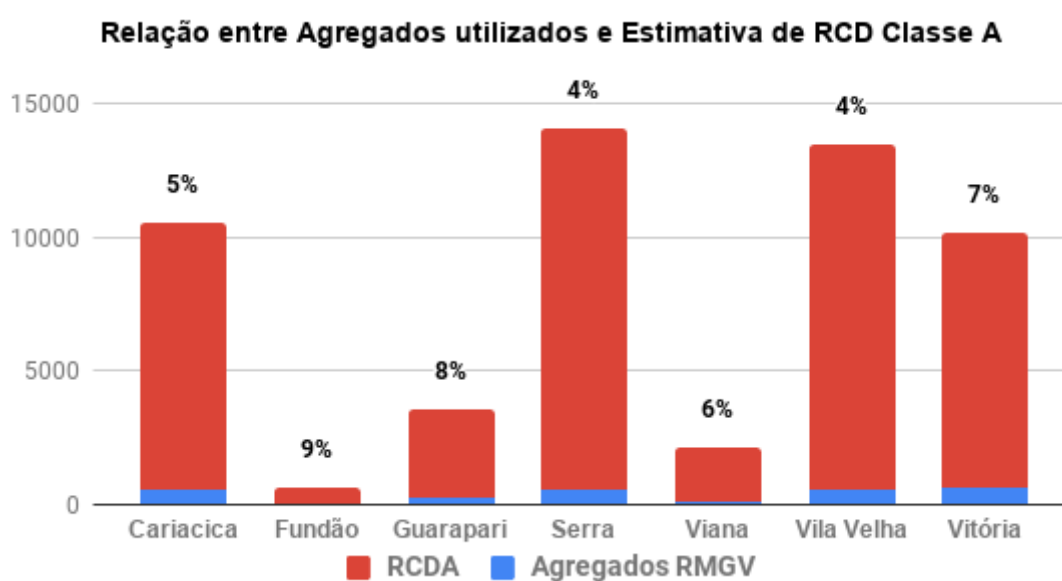
A Tabela 6 abaixo mostra a relação entre os agregados utilizados mensalmente em obras públicas e os RCD Classe A coletados nos municípios:

Tabela 7 – Relação entre Agregados utilizados e coleta de RCD Classe A.

Município	<i>Agregados</i>_{RMGV} (m³/mês)	<i>RCD</i>_A (m³/mês)	<i>Disp</i> (%)
Cariacica	533,26	10042,81	5%
Fundão	48,63	558,66	9%
Guarapari	269,06	3262,22	8%
Serra	571,05	13464,54	4%
Viana	124,71	2041,28	6%
Vila Velha	544,89	12897,14	4%
Vitória	627,43	9503,38	7%
Total	2.719,03	51770,03	5%

Conforme a Tabela 7, pode-se observar que há disponibilidade de matéria-prima para a transformação em agregados reciclados que atendam às obras. Mostra ainda que, reciclando apenas 5% de todo o RCD coletado nos municípios da RMGV, é possível gerar agregado reciclado suficiente para abastecer mensalmente todas as obras públicas registradas no sistema GEO-OBRAS. A relação se encontra abaixo de 10% para todos os municípios da região, conforme mostra a Figura 6:

Figura 6 - Relação entre os agregados utilizados mensalmente em obras públicas e os RCD Classe A coletados nos municípios.



Para realizar comparação de preços, foi utilizada a média dos preços dos produtos naturais “AREIA PARA ATERRO”, “PÓ DE PEDRA” e “BRITA” (IOPES, 2019), que é de R\$ 60,33 por m³. Para os agregados reciclados, foi levando em consideração o valor de venda desses produtos informado pela maior parte das usinas de reciclagem brasileiras, de acordo com a pesquisa setorial da ABRECON (2019), que é de 25 a 30 reais por m³. Para o estudo foi utilizado o valor de R\$ 30,00 por m³. A diferença de valor mensal da aquisição de agregados naturais em relação aos reciclados é mostrada na tabela abaixo:

Tabela 8 – Diferença de valores de aquisição de agregados naturais e reciclados.

Município	<i>Agregados</i>_{RMGV} (m³/mês)	<i>D_{nr}</i>
Cariacica	533,26	R\$ 16.173,78
Fundão	48,63	R\$ 1.474,95
Guarapari	269,06	R\$ 8.160,59
Serra	571,05	R\$ 17.319,95
Viana	124,71	R\$ 3.782,45
Vila Velha	544,89	R\$ 16.526,51
Vitória	627,43	R\$ 19.029,95
Total	2.719,03	R\$ 82.468,18

O valor D_{nr} mostra o quanto seria economizado mensalmente, caso todos os agregados naturais, adquiridos nas obras públicas estudadas, fossem substituídos por reciclados.

56 CONCLUSÃO

A metodologia aplicada nesta dissertação mostrou-se aplicável para o estudo de caso de diversos municípios do Brasil, pois muitos utilizam a plataforma GEO-OBRA como ferramenta de registro.

Em relação ao estudo dos agregados naturais utilizados em obras licitadas, foi possível observar que a geração de resíduos e demanda por agregados aumenta conforme o número de habitantes do município. Além disso, pode-se afirmar que a demanda por agregados é muito menor que a coleta de resíduos passíveis de reciclagem e transformação em agregados reciclados. A estimativa de coleta para a RMGV de resíduos Classe A, ou seja, aqueles passíveis de reciclagem, foi de 51.770,03 m³ por mês. Enquanto a demanda

mensal de 2008 até 2018 desses mesmos municípios foi de 2.719,03 m³ por mês. Esses valores mostram que reciclando apenas 5% dos resíduos com potencial para transformação em agregados coletados nesses municípios, é possível suprir toda a demanda de obras públicas registradas no portal GEO-OBRAS.

Os agregados naturais utilizados nas obras possuem uma média de preços de R\$ 60,33 por m³. Já os agregados reciclados, possuem uma média de R\$ 30 por m³. Se todo o agregado natural considerado neste trabalho fosse substituído pelo reciclado, a economia em obras públicas da RMGV seria de R\$ 82.468,18 por mês.

Deve ser levado em consideração que a demanda por agregados naturais na RMGV se baseou somente em dados do portal GEO-OBRAS. Os dados foram obtidos através da previsão da empresa vencedora da licitação, o que pode ter variado de acordo com o andamento da obra. A demanda de empresas privadas por esses agregados, que aumentaria em muito o valor obtido, não foi analisada. Além disso, a pesquisa utilizou apenas os dados de obras específicas, que representam os usos mais recomendados para os agregados reciclados, conforme a revisão bibliográfica.

Recomenda-se para trabalhos futuros a análise dos impactos ambientais que representam a extração de agregados de jazidas naturais, em relação à utilização de materiais reciclados da construção civil. Além disso, devem ser consideradas áreas para implantação de unidades de reciclagem, bem como planos de negócios para essas unidades, logisticamente instaladas para o atendimentos das obras das regiões estudadas.

67 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÂNGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento mecânico dos concretos.** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

ÂNGULO, S.C., ULSEN, C., KAHN, H., JOHNV.M. **Desenvolvimento de novos mercados para a reciclagem massiva de RCD.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5, 2002, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.** São Paulo, 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/> Acesso em 05 dezembro 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004:Resíduos Sólidos:-. Classificação,** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.112. Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.113. Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.114. Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.115. Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.116. 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 PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **Pesquisa Setorial 2014/2015.** Disponível em www.abrecon.org.br. Acesso em: 23 de março de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO – ABRECON. **Pesquisa Setorial 2017/2018** Disponível em www.abrecon.org.br. Acesso em: 27 de maio de 2019.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável.** In: Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Jan/Mar de 2006. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Rio de Janeiro, 2006.

BOHNENBERGER, J.C.; PIMENTA, J.F.P.; ABREU, M.V.S.; COMINI, U.B.; CALIJURI, M.L.; MORAES, A.P.; PEREIRA, I.S. **Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério.** Ambiente construído, v. 18, n. 1, 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** USP, Dissertação (Doutorado em Engenharia Ambiental), Escola 63 de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2007.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **PIB Brasil e Construção Civil.** Belo Horizonte/MG, 2016. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcaocivil>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005.

CHO, Y. H. & YEO, S. **Application of aggregate recycled from construction waste to highway pavement.** In: TRB 86 th Annual Meeting. Proceedings (CD-ROM). Transportation Research Board. Washington. 2003.

A. Coelho, J. D. Brito, **Waste Manag.** Res. 29, 7, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Presidente: Jose Carlos Carvalho. Brasília, 2002.

GRUBBA D. C. R. P., **Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização na construção rodoviária.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2009.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Estado dos Transportes e Obras Públicas. **Instituto de Obras Públicas do Espírito**

Santo. Tabela Custos Referenciais labor/ct-UFES padrão IOPES. Março de 2019. Disponível em: < <https://iopes.es.gov.br/> > acesso em: 15 de Abril de 2019.

IBGE. Censo Demográfico - 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>
Acesso em: 14 mar. 2019.

KOCHEM, K. Potencialidades de logística reversa do resíduo de gesso da indústria da construção civil. Dissertação Mestrado - Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016

LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Porto Alegre: UFRS, 2001. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEITE, F. C., Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2007.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Durabilidade de concretos produzidos com resíduos minerais de construção civil. In: III SEMINÁRIO: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÁTICAS RECOMENDADAS, IBRACON, 3., São Paulo. Anais [...]. São Paulo: IBRACON, 2000. p. 03-14.

LIMA, J. H. C. Utilização de resíduos de construção e demolição para pavimentos urbanos da região metropolitana de Fortaleza. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.

MANFRINATO, J.W.S., Esguícero, F.J., & Martins, B.L. **Implementação de usina para reciclagem de resíduos da construção civil como ação para o desenvolvimento sustentável estudo de caso.** Anais. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro/RJ, 2008.

MARQUES NETO, J. DA C & SCHALCH, V. **Gestão dos resíduos de construção e demolição: Estudo da situação no município de São Carlos-SP,** Revista Engenharia Civil. Brasil. (36), 2010.

Ministério do Meio Ambiente - MMA, **Projeto internacional de cooperação técnica para a melhoria da gestão ambiental urbana no Brasil - BRA/OEA/08/001,** 2010.

MIRANDA, L.F.R. et al. (2009). **A Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil: 1986 – 2008.** Revista Ambiente Construído. Porto Alegre, 2009.

MORAND, F. G. **Estudo das Principais Aplicações de Resíduos de Obra como Materiais de Construção.** Projeto de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

MUELLER, A. **Closed loop of concrete and masonry rubble. Chair of mineral processing of building materials and reuse,** Universidade de Bauhaus, Weimar/Alemanha, 2007.

NAGALLI A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de ferramenta para apoio à gestão de resíduos de construção e demolição com uso de geoprocessamento: caso Bauru-SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, J. C. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis.** Tese de Doutorado – Departamento de Ciências - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

OLIVEIRA, W.N.; ROCHA, V.P.; FERREIRA O.M. **Mapeamento dos pontos de disposição de resíduos da construção civil e demolição em Goiania.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, 2013.

PINTO, T. P. **Metodologia para gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo 1999. Tese (Doutorado) EPUSP, 1999.

QUEIROZ, B. O. & MELO, R. A. **Uso de resíduos sólidos gerados pela construção civil em pavimentação na cidade de João Pessoa.** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

RAMOS, B.F. (2007). **Indicadores de qualidade dos resíduos da construção civil do município de Vitória-ES.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2007.

SILVA, W.; JUNIOR, E. S. M.; COELHO, G. T. F.; PEREIRA, D. R. **Utilização de agregados dos resíduos da construção e demolição (RCD) em pavimentação.** Apresentado no Congresso Técnico Científico de Engenharia e Agronomia – CONTECC, Fortaleza, 2015.

SOBRAL, R. F. C. **Viabilidade econômica de Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil: Estudo de caso da USIBEN – João Pessoa/PB.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental,

Saneamento Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2012.

TCE-ES. TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Geo-Obras**. Disponível em: <<https://geobras.tce.es.gov.br/>>. Acesso em: 5 out. 2018

TCE-MT. TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO MATO GROSSO. **Geo-obras**. Disponível em: <<http://www.tce.mt.gov.br/conteudo/sid/172>>. Acesso em: 05 out. 2018.

Brasileiro, L. L. & Matos, J. M. E. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica. 61 (358), 2015.