

Literature review on Solid Waste Recycling from Civil Construction in a global parameter.

Meireles, J. R. ¹; Rassi, K. C. A. ²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Nunes, W. C. ³

Professor M.Sc., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ *jeffersonrodriguesmeireles@gmail.com*; ² *kmillaadorno@hotmail.com*; ³ *wcarlos@pucgoias.edu.br*

RESUMO: O notável crescimento na indústria da construção civil gerou uma série de novas demandas e alguns problemas, um dos quais correlaciona-se à gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos gerados pelos canteiros de obras. Os resíduos de construção e demolição (RCD) são reconhecidos como a principal forma e fonte de resíduos sólidos urbanos. A reciclagem destes resíduos é uma questão muito importante para o desenvolvimento urbano sustentável. A análise de fluxo de materiais (AFM) quantifica o fluxo e o inventário de materiais e é uma ferramenta útil para analisar o gerenciamento de RCD. Informações pertinentes e relacionadas a alguns países localizados em diferentes continentes foram coletados e analisados criticamente com foco central na geração atual de resíduos de construção e demolição, a partir de diferentes políticas adotadas pelos órgãos governamentais locais. Neste artigo, apresenta-se um panorama internacional correlacionado à análise de fluxo de materiais e processamentos no contexto da reciclagem e disposição de resíduos de construção e demolição. O presente estudo também possibilita identificar lacunas em relação ao tema revisado, bem como instiga futuros estudos mais aprofundados sobre a análise de fluxo de materiais, gerenciamento e processos para disposição de resíduos de construção e demolição no campo do desenvolvimento urbano sustentável.

Palavras-chave: Resíduos de construção e demolição; gerenciamento do RCD; impacto ambiental; reciclagem e reutilização; sustentabilidade urbana.

ABSTRACT: The remarkable growth in the civil construction industry a series of new demands and some problems, one of which is related to the management and management of the generated works generated. Construction and demolition waste (C&D waste) is recognized as the main form of municipal solid waste. The recycling of these wastes is a very important issue for sustainable urban development. Material Flow Analysis (MFA) quantifies material flow and inventory and is a useful tool for analyzing construction and demolition waste management (C&D waste). Information related to relevant countries in different focus continents was created and constructed from different methods critically adopted from current bodies to local and demolished bodies. In this article, the state of the art related to flow analysis and processing in the context of recycling and provision of construction and demolition is presented. Development and identification of research gaps to further develop research for materials development, management and demolition for the provision of construction and demolition materials in the field of sustainable urban.

Keywords: Construction and demolition waste; management (C&D waste); environmental impact; recycling and reuse; urban sustainability.

Área de Concentração: 01 – Construção Civil.

1 INTRODUÇÃO

Com a retomada do crescimento e desenvolvimento no país, um dos setores que novamente se encontra em ascensão é o setor da construção civil, o que impulsiona a demanda por matéria-prima em grande escala e, assim, conseqüentemente, atinge os recursos naturais de onde são extraídos alguns materiais básicos para a indústria da construção civil. Com isto, a escassez destas jazidas tem apresentado aumento exponencial no decorrer das últimas décadas. E, por outro lado, o aumento do consumo de materiais na construção civil têm correlação proporcional com o aumento do volume de materiais desperdiçados nas obras, devido à falta ou deficiência quanto à gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos provenientes dos canteiros de obras.

Grandes impactos ambientais são derivados da alta demanda de materiais para a construção civil, apontando também o desmedido uso e consumo de matéria prima, podendo assim comprometer as próximas gerações em um futuro não muito distante. Em qualquer processo de construção civil, provoca-se consumo de energia que, segundo Karpinsk *et al.* (2009), inclui etapas como extrair, transformar, fabricar, transportar e aplicar. Sendo assim, a construção civil recebe a responsabilidade por seus resíduos gerados, os quais causam alguns problemas, tais como a facilidade na proliferação de vetores, contaminação do solo quando resíduos perigosos são manuseados incorretamente, bem como contribuem para o aumento em custos de manutenções do sistema drenante de águas pluviais, quando descartados próximos de vias públicas e também contribuem como forma de poluição visual.

Alguns pesquisadores propuseram diferentes modos para reduzir a exploração de recursos naturais, correlacionados aos tradicionais agregados usados para produção de concretos e argamassas, tal como a utilização de materiais cimentícios complementares. Estes incluem cinzas volantes, sílica ativa (LEUNG *et al.*, 2016) e cal viva (NOOR-UL-AMIN *et al.*, 2012) ou produtos residuais de diferentes processos, tais como os resíduos provenientes de materiais cerâmicos [devidamente selecionados e processados] (AWOYERA *et al.*, 2016), argila e agregados reciclados (MUÑOZ-RUIPEREZ *et al.*, 2016). A adição desses materiais geralmente altera as propriedades do concreto, porém, a utilização de materiais residuais como adição em concretos e argamassas contribuirá para minimização volumétrica depositada em aterros sanitários e, conseqüentemente, redução de custos operacionais relativos à limpeza urbana. Por outro lado, tem-se ganhos no que se refere à minimização de impactos indesejáveis ao meio ambiente.

Uma questão contextual relevante refere-se ao local e área adequados para deposição destes materiais residuais não reaproveitáveis ou recicláveis, pertinentes aos resíduos sólidos urbanos, provenientes da indústria da construção civil. A construção civil é, ainda, fonte geradora de grande volume de resíduos, demandando assim extensas áreas de aterro sanitário para fazer o correto descarte. A geração de resíduos sólidos a partir de desperdícios de materiais de construção, vulgarmente chamado de entulho de obra, devem ser entendidos como “desperdícios” de recursos naturais. O assunto pertinente à sustentabilidade na construção civil tem sido reiteradamente discutido pela comunidade acadêmico-científica.

Um dos materiais com maior diversidade é o concreto, dependendo da sua aplicação, diferentes misturas podem ser usadas em diferentes países e propósitos. Logo, é importante estimar a geração global e regional dos RCD e desenvolver diretrizes ou recomendações para a aplicação adequada destes materiais. No momento atual, não se encontrou um artigo de revisão abrangente, discutindo a produção mais recente de RCD em parâmetro global. Assim sendo, o objetivo geral deste trabalho é fornecer uma visão panorâmica e perspectiva global sobre as tendências na produção de resíduos de construção e demolição em diferentes países do mundo e como diferentes materiais complementares podem contribuir na produção de concretos com agregados reciclados de RCD. O escopo deste trabalho é limitado aos resíduos de RCD, agregados reciclados obtidos a partir de concreto velho de demolições e seu uso com diferentes materiais.

Estimar com precisão a quantidade de vários tipos de resíduos de construção em projetos de construção é um pré-requisito e fator chave para o sucesso do gerenciamento de resíduos provenientes das construções. A Análise de Fluxo de Material (AFM) quantifica o fluxo de material e o inventário para análise de descarte de resíduos. Logo, a AFM têm sido bastante utilizada para avaliação quantitativa da reciclagem e descarte pertinente ao RCD, tendo como exemplo a análise de fluxo de materiais, frequentemente usada em sistemas europeus de gestão de resíduos que incluem o tratamento de RCD. A análise dos processos de reciclagem de resíduos sólidos urbanos às vezes depende do método AFM. Um bom sistema de gestão de resíduos e reciclagem requer uma sólida compreensão da estrutura regulatória e mudanças nos impactos ambientais, sendo a AFM uma ótima ferramenta para ajudar implementar o processo pertinente.

A AFM também realiza um papel significativo no desenvolvimento de planos e estratégias de gestão de resíduos. Nas economias emergentes, novas políticas

ambientais e fiscais podem ser propostas com base em evidências da AFM. A integração da AFM com sua distribuição espacial pode descrever a maior variedade de usos materiais na sociedade e é benéfica para o planejamento estratégico sustentável, pois essa integração fornece a base para o desenvolvimento de estratégias de sustentabilidade. Outrossim, a AFM vem trabalhando no tratamento e gestão de resíduos únicos e resíduos mistos do tipo RCD, em escala regional, nacional e global.

De acordo com Dahlbo *et al.* (2015), o custo da reciclagem e reutilização de materiais de construção também foi identificado como um fator importante em alguns estudos, assim como a abordagem combinada de AFM com avaliação do ciclo de vida e seus custos ambientais e os melhores métodos disponíveis na análise de fluxo de materiais para avaliar o desempenho dos sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos (RCD). Neste artigo, revisa-se o desenvolvimento de AFM com base em resíduos de RCD e analisa-se resumidamente as informações pertinentes e resultantes de alguns países localizados em diferentes continentes.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A geração desnecessária de resíduos sólidos é geralmente advinda da construção de edifícios, que pode ter como causa suprimentos excessivamente ordenados ou manuseio incorreto de materiais por trabalhadores não qualificados. Por outro lado, as demolições são essenciais para o desenvolvimento das megacidades cuja falta de espaço é o maior obstáculo, o que se verifica no caso de edifícios que já completaram a vida útil ou em reformas e/ou readequações prediais. Portanto, estas condições podem ser consideradas relevantes quanto à geração de resíduos sólidos (entulho de obras).

Resíduos sólidos de construção também podem ser gerados após desastres naturais. Essas ocorrências resultam vários problemas significativos, como o transporte, armazenamento dos resíduos em local adequado antes do processamento da parte reaproveitável (reciclável) e disposição nos aterros. Blengini e Garbarino (2010) mencionaram a cidade de Turim, na Itália, como um exemplo para ilustrar o papel dos agregados reciclados em um mix de fornecimento sustentável. Muitos autores têm utilizado estratégias como a avaliação do ciclo de vida, que pode ajudar os tomadores de decisão locais a selecionar materiais alternativos para fins de construção, seja edificação ou pavimentação, que minimizem o impacto ambiental (BUTERA *et al.*, 2015, ROSADO *et al.*, 2017). Essas estratégias podem ser vistas como uma internalização

global do setor de resíduos do tipo RCD, levando a uma produção mais limpa.

Diante de questões ambientais, a resolução CONAMA 307 (BRASIL, 2002) estabelece a necessidade de grandes geradores realizarem o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), definindo assim responsabilidades e deveres, o qual obriga os geradores a reduzir, reutilizar, reciclar, tratar e dispor os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), bem como incluem-se o planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para formular e implementar as ações necessárias para cumprir o plano e as etapas especificadas de gerenciamento dos resíduos.

Os resíduos gerados pela construção e demolição (RCD) em nível mundial são considerados incômodos, devido a sua ampla gama de materiais envolvidos, tais como aço, concreto, vidro e alguns materiais perigosos, como amianto, mercúrio etc. Resíduos esses que devido à grande variedade, o manuseio e produção em massa se tornam uma tarefa extenuante. Estima-se que mais de 4 milhões de toneladas desses resíduos sejam encaminhados para aterros e aterros limpos/inertes. Devido à sua natureza química, os resíduos de construção e demolição contêm muitos outros problemas, e o descarte é limitado a aterros onde a maioria das tecnologias de tratamento de resíduos não pode ser realizada, incluindo digestão aeróbica e anaeróbica, compostagem, degradação termoquímica e incineração em caldeiras. Portanto, é fundamental prever a escassez de terrenos para aterros e o aumento dos custos de transporte, Inglis (2007).

De acordo com Saghafi e Teshnizi (2011), os problemas causados pelos resíduos sólidos provenientes das construções implicam em mudança forçada para outras estratégias de gerenciamento de resíduos, incluindo minimização, reutilização e reciclagem. Existem muitos estudos sobre desconstrução de edifícios para avaliar a reutilização de materiais e alguns resultados positivos têm sido relatados. Apesar de a reutilização tenha seus benefícios, o custo e o tempo associados à operação do sistema é uma das principais barreiras à adoção dessa tecnologia. Sob outro ponto de vista, a reciclagem também é uma opção viável para lidar com esse fluxo de resíduos, onde todos os resíduos gerados são tratados e divididos em diferentes categorias, incluindo aço, concreto, madeira e vidro. Estes resíduos recolhidos podem ser reciclados e utilizados para outros fins, podendo também ser utilizados com outros materiais de construção. A Figura 1 explica esquematicamente o fluxo dos materiais durante as atividades de construção e demolição, conforme Chau *et al.* (2016) e Höglmeier *et al.* (2015).

Figura 1 – Fluxo dos materiais no processo da construção e demolição.



Fonte: Chau (2016) e Höglmeier (2015) [adaptada].

2.1 Resíduos sólidos

De acordo com a ABNT 10004 (2004), “resíduos sólidos são aqueles nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. Já a Lei Federal nº 12.305 (2010) define resíduos sólidos como “substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”. A Lei Federal supracitada implementou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que busca organizar e regular a forma com que o país lida com os resíduos, exigindo transparência de setores públicos e privados no que diz respeito ao gerenciamento dos resíduos gerados. Esta política convoca à prática de hábitos sustentáveis de consumo, incentiva a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos sólidos, bem como a destinação ambientalmente adequada dos dejetos e discute até mesmo questões como o fim dos “lixões”.

2.2 Classificação dos resíduos da construção e demolição (RCD).

Apesar dos problemas gerados, o entulho deve ser visto como uma importante fonte de materiais com grande utilidade para a construção civil. O descarte tradicional em aterros nem sempre é o mais racional, pois esse material serve para substituir materiais extraídos de jazidas ou pode se transformar em matéria-prima para componentes de construção, com a qualidade comparável aos materiais tradicionais (MOTA, 2014). Dessa forma, os resíduos gerados pelo setor deixam de ser um problema e passam a ser uma saída sustentável

para a escassez de alguns materiais extraídos dos recursos naturais (BARBOSA, 2012). Logo, fica claro que é possível tornar um problema social e ambiental em uma fonte geradora de novos materiais, bastando para isso, um certo esforço para viabilizar a reciclagem desses resíduos. Ao executar a reciclagem do RCD, o ciclo de vida se fecha dentro do setor da construção, trazendo um equilíbrio entre a demanda e a disponibilidade do subproduto, o que reduziria a extração cada vez mais acelerada de matéria prima da natureza. Enfatiza-se que é inevitável a geração de alguma quantidade de resíduo (entulho/lixo) em obras da construção civil. Sendo assim, o que as pesquisas e as ações práticas pertinentes têm sugerido para redução deste tipo de material residual é o combate ao desperdício exagerado de materiais nos canteiros de obras do Brasil, o que ainda ocorre frequentemente e pode ser a causa principal na geração “excessiva” de resíduos sólidos. Caracterizar e classificar os resíduos gerados pela construção civil é de suma importância, pois auxilia no processo analítico dos tipos de resíduos que são gerados em maior quantidade nos canteiros de obras, além de auxiliar nas tomadas de decisão quanto aos métodos e equipamentos que são mais adequados para se utilizar no processo de reciclagem do RCD.

2.3 Pesquisa de AFM com base na reciclagem e descartes de RCD

2.3.1 Método tradicional de AFM

A Análise de Fluxo de Material (AFM) pode quantificar o fluxo e o estoque de materiais, por isso é sempre usado para analisar sucatas específicas. Resíduos de argamassas e concretos são os principais objetos de pesquisa. Lockrey *et al.* (2016) afirmaram que os países em desenvolvimento dão menos ênfase aos sistemas formais de reciclagem e sistemas semelhantes replicados de países desenvolvidos. Portanto, eles apresentaram os desafios práticos da reciclagem de resíduos RCD. No Vietnã e usaram o AFM para analisar o fluxo de materiais e as taxas de reciclagem, identificando assim os gargalos logísticos existentes. Um estudo semelhante de Tanginthai *et al.* (2019) apresentou uma AFM comparativo sobre materiais cimentícios [concretos] entre a Grã-Bretanha e a Tailândia para analisar as diferentes práticas nos dois países. Também em nível nacional, Kapur *et al.* (2009) obtiveram um modelo de fluxo e inventário de cimento baseado em AFM, a qual foi desenvolvida para construir o ciclo de cimento contemporâneo dos EUA, observando que controlar o rápido crescimento de resíduos RCD requer urgentemente um esforço conjunto de todas as partes interessadas para minimizar a quantidade de RCD em aterro.

2.3.2 Extensão de AFM

Nos últimos anos, houve alguns novos avanços de pesquisa, em relação a AFM, que fornecem alguns novos recursos para AFM tradicional, como também para análise de fluxo de material dinâmico, análise de fluxo de material espacial e AFM contínua.

2.3.2.1 Análise de fluxo de material dinâmico

A análise dinâmica de fluxo de material tem uma característica distinta, diferentemente da AFM tradicional, pois esta considera o intervalo de tempo de vários anos, ou mesmo décadas. Na análise dinâmica de fluxo de materiais, alguns dados históricos ou modelos históricos de desenvolvimento de estoques e fluxos de materiais são utilizados para avaliar o fluxo e estoque de materiais em cenários robustos. Serrenho *et al.* (2019), projetaram um modelo de fluxo dinâmico para edifícios na Inglaterra usando análise de fluxo de material dinâmico para avaliar as emissões internas e operacionais entre a construção de novos edifícios e reformas de edifícios existentes. Hu *et al.* (2010), também usaram análise de fluxo de material dinâmico, o que permitiu analisar o impacto subsequente do sistema de habitação urbana em Pequim no consumo de concreto e resíduos de concreto durante a construção e demolição de casas de 1949 a 2050. Hu *et al.* (2010) e Serrenho *et al.* (2019), propuseram que prolongar a vida útil da casa pode atrasar o pico de RCD e recomendam fortemente a reciclagem de resíduos para gerenciamento sustentável dos RCD a longo prazo.

2.3.2.2 Análise de fluxo de material espacial

O modelo de análise de fluxo de material espacial foi desenvolvido utilizando a distribuição espacial baseada em fatores ambientais e econômicos. Os desafios associados à análise de fluxos de materiais espaciais foram estudados tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. Encontrou-se apenas um estudo de RCD usando análise de fluxo de material espacial, que propõe duas métricas de construção e uma análise de fluxo baseada em rede de compartilhamento de dados através da internet. Vivanco *et al.* (2012) tiveram como propósito apresentar com precisão os fluxos de resíduos, tanto em termos de massa quanto de atributos espaciais e permitir a verificação do desempenho de sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos urbanos em termos de eficiência de conversão de resíduos em produtos e a intensidade de transporte necessária.

2.3.2.3 Análise de fluxo de material contínuo

Schiller *et al.* (2017) obtiveram o conceito de AFM contínuo e a estrutura conceitual de análise desse método, incluindo AFM tradicional e fluxo reverso. Essa contracorrente inclui a captura de resíduos de alta qualidade no processamento de desconstrução, o

processamento dos resíduos capturados em agregados reciclados e a mistura desses agregados em novos produtos. Schiller *et al.* (2017) tiveram como propósito avaliar e quantificar todo o ciclo do material de construção, considerando a conversão de minerais a granel não metálicos em agregados reciclados.

2.3.3 Método combinação baseado em AFM

Informações sobre reutilização atual/futura, inventário e descarte de RCD podem ser obtidos por meio de análise de fluxo de materiais de construção. Portanto, é difícil analisar e quantificar com precisão o impacto ambiental e econômico exato.

Muitos estudiosos combinam AFM com outros métodos para obter avaliações econômicas e ambientais mais precisas, expandindo ainda mais o método de aplicação AFM. Uma das aplicações combinadas típicas é a integração de métodos AFM e avaliação do ciclo de vida. Zhang *et al.* (2018) usaram a integração do AFM e da avaliação do ciclo de vida mostrando que a reciclagem de resíduos RCD pode gerar benefícios de redução do uso da terra e redução de gases de efeito estufa. Teh *et al.* (2018) fizeram uma avaliação do ciclo de vida híbrido de unidade mista para analisar materiais de construção reciclados, usando a fusão de unidades físicas e monetárias, em sistemas de materiais de construção industriais, para fornecer cálculos mais precisos de carbono incorporado e melhorar a precisão do rastreamento do fluxo de materiais.

Heeren *et al.* (2019) sugeriram um novo modelo de inventário de construção para avaliar os impactos de materiais, em nível de construção, usando conjuntos de dados e sistemas de informações geográficas, juntamente com métodos AFM e avaliações de ciclo de vida, o que poderia resultar em dados mais precisos e maior flexibilidade em escalas espaciais e temporais. Além disso, sistemas de informações geográficas também foram integrados à AFM para demonstrar os padrões espaço-temporais de inventários e fluxos de materiais à medida que a infraestrutura evolui. Han *et al.* (2018) propuseram o mapa de alta resolução espacial que inclui a quantidade e composição dos fluxos de resíduos, o que pôde servir de base para tomada de decisão aos municípios e empresas relacionadas, em termos de seleção de locais, capacidade, alocação de custos e seleção de tecnologia para coleta e disposição de resíduos de demolição e construção.

Há vários pontos de vistas combinados para reciclagem e descarte de resíduos RCD, como AFM combinada com análise de entrada-saída, de acordo com Surahman *et al.* (2017), AFM combinada com custo do ciclo de vida ambiental, segundo Dahlbo *et al.* (2015) e AFM combinada com análise estatística de entropia, descrita por Martinez *et al.* (2019), entre outros.

3 METODOLOGIA

Os dados mais recentes sobre resíduos de construção e demolição gerados por vários países foram coletados através de sites de diferentes organizações governamentais, incluindo a União Europeia, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), Statistics Canada, Departamento de Meio Ambiente e Gestão de Recursos da Austrália e de artigos publicados anteriormente por órgãos não governamentais. Considerou-se que as estatísticas oficiais publicadas pelos órgãos governamentais relevantes seriam os principais indicadores da geração de resíduos sólidos das construções e demolições, com dados quantitativos confiáveis.

A pesquisa teve início a partir de materiais acadêmicos encontrados no banco de dados da Biblioteca da Escola Politécnica da PUC-GO. Os materiais acadêmicos selecionados a partir desta pesquisa bibliográfica foram analisados para apresentar as tendências de geração dos resíduos sólidos das construções e demolições (RCD) em vários locais do mundo. As propriedades dos agregados reciclados, com diferentes materiais, também são brevemente discutidas a partir dos estudos publicados e disponíveis nos últimos dez anos, no que se refere ao potencial dos agregados reciclados na produção de argamassas e concretos.

No que se refere aos estudos analíticos sobre os resíduos sólidos provenientes das construções e demolições (RCD), os artigos pesquisados e revisados puderam ser agrupados em três categorias com base no método empregado, incluindo AFM tradicional, AFM de extensão e AFM combinada. A AFM combinada é o método mais popular de reciclagem e descarte de RCD porque fornece avaliação e análise multidimensionais. Uma observação interessante é que todos os artigos listados são pós-2000, embora a AFM tenha sido proposta pela primeira vez na década de 1970.

Os buscadores usados no presente artigo foram: *Scopus*, *Science Direct*, *MDPI Publisher Of Open Access Journals*, *CAPEs* e *Google Acadêmico*. Nesta parte do estudo foram priorizados artigos e periódicos, posteriormente, incluídos trabalho.

A pesquisa bibliográfica deste estudo foi realizada por intermédio do portal de períodos da CAPES, oferecido pela biblioteca da Escola Politécnica da PUC-GO, com palavras chaves previamente definidas, quando foram identificados e totalizados cerca de 2.000 (dois mil) artigos e demais documentos de interesse para a presente revisão bibliográfica. Adiante, os detalhes das etapas que corresponderam à seleção destes materiais pesquisados são comentados e também mostrados graficamente na Figura 2.

Figura 2 – Seleção do material pesquisado



Fonte: próprios autores (2022).

A primeira etapa ocorreu mediante a realização da filtragem e separação dos artigos a partir dos resumos lidos e seus títulos; assim, atingiu-se a quantidade de 200 (duzentos) artigos pré-selecionados. Como método de seleção dos artigos na segunda etapa, foram analisados, além dos resumos, as correspondentes conclusões, limitando assim para 100 (cem) artigos. Destes últimos, foram finalmente escolhidos (sumariados) 80 (oitenta) artigos pertinentes ao tema do presente estudo, conforme resume a Figura 3, em valores percentuais.

Figura 3 – Porcentagem do Material Sumariado



Fonte: próprios autores (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Geração de resíduos de construção e demolição

Países ao redor do mundo estão tentando reduzir seus resíduos de construção e demolição (RCD), introduzindo diferentes legislações e aumentando a conscientização geral de seus habitantes, para ajudar a proteger o meio ambiente dos impactos indesejáveis.

As seções (subtópicos) a seguir discutem as informações disponíveis sobre a geração de RCD, em alguns países localizados nos vários continentes, em relação à legislação existente, políticas sobre descarte de resíduos sólidos e atividades de reciclagem. Apesar da complexidade e variabilidade associada à coleta de dados de geração de RCD de país para país, apresentam-se a seguir alguns cenários internacionais pertinentes e correlatos à gestão dos resíduos sólidos provenientes das construções e demolições (RCD).

4.1.1 *Oceania*

A Nova Zelândia instituiu a “Lei de minimização de resíduos” criada em 2008 para impedir que os resíduos sejam jogados em aterros e para incentivar a reutilização e reciclagem desses fluxos de resíduos (FARRELLY e TUCKER, 2014). A maioria dos resíduos do tipo RCD acabam sendo descartados em aterros sanitários (20%) ou aterros limpos/inertes (80%). O governo da Nova Zelândia trabalhou para reduzir a enorme quantidade necessária de aterros sanitários. A primeira instalação de reciclagem de RCD foi construída em Auckland com a ajuda de impostos cobrados e correlacionados aos aterros sanitários (ANTHONY, 2015). A Nova Zelândia, provavelmente, carece de estatísticas atualizadas sobre resíduos de construção e demolição, pois não foram encontrados muitos estudos com dados pertinentes, o que serviria para capacitar as demandas locais atuais quanto ao tratamento de RCD.

Em comparação com a Nova Zelândia, a Austrália gera uma quantidade significativa de RCD, com as maiores taxas de geração ocorrendo na região de Nova Gales do Sul, seguida por Queensland e Victoria. Na Austrália houve amplo gerenciamento em relação a geração de resíduos sólidos. A Hyder Consulting (2011) constatou que a taxa de reciclagem dos resíduos da construção civil chegou a 55%.

A maioria dos resíduos (RCD) é de alvenaria, incluindo concreto, tijolos, asfalto etc., representando cerca de 72,3%. No entanto, 66% dos resíduos são reciclados e o restante é direcionado para aterro sanitário. Apesar das altas taxas de reciclagem, os estados australianos estão trabalhando duro para aumentar as taxas de reciclagem e se comprometeram a atingir mais de 70%. Sob a “estratégia rumo a zero resíduos”, estabeleceu-se a meta em 80% para a reutilização ou reciclagem de RCD. Sob o “Slogan” de “*Zero Waste SA Act 2004*”, a Hyder Consulting incentivou a redução de resíduos [sólidos] em aterros sanitários em 25%, no sul da Austrália (HYDER CONSULTING ENCYCLE CONSULTING & SUSTAINABLE RESOURCE SOLUTIONS, 2011). Assim como a Nova Zelândia, a Austrália se comprometeu a apoiar a reutilização e a reciclagem de materiais, a partir de taxa de descarte de resíduos em aterros [sanitários].

4.1.2 *América*

Sendo uns dos maiores produtores de RCD do mundo, os Estados Unidos geram mais de 500 milhões de toneladas por ano, de acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), que é uma agência do Governo Federal dedicada a questões ambientais, humanas e de saúde e suas interações. Pouco tempo atrás, a USEPA preparou um relatório abrangente sobre todos os tipos de geração de resíduos (USEPA, 2015). Uma avaliação USEPA de fragmentação do RCD mostrou de vários modos que a maioria destes resíduos veio de concreto de cimento Portland (67%), variando de 348 a 352 milhões de toneladas, seguido de concreto asfáltico (18%), no período anual de 2012 a 2013.

Apesar dos dados disponíveis sobre RCD nos Estados Unidos serem muito extensos, as estratégias de reciclagem e reutilização não têm sido adequadamente discutidas com clareza na literatura sobre este tema. Townsend *et al.* (2014) afirmaram que mais de 70% dos resíduos foram reciclados em 2012, sendo o agregado a granel a maior taxa de reciclagem (85%). A economia de energia dessa reciclagem é equivalente a 85 milhões de barris de petróleo, mostrando o potencial atrativo que a reciclagem de RCD pode alcançar ao longo de seu ciclo de vida. A reciclagem é também importante do ponto de vista econômico, visto que nos EUA a indústria de reciclagem deste tipo de resíduo (RCD) correspondeu a um valor investido de 17 bilhões de dólares e com uma movimentação direta de 7,4 bilhões de dólares ao ano. Jin e Chen (2015) realizaram uma extensa pesquisa sobre as tendências de reciclagem na indústria de construção dos EUA. A maioria dos entrevistados (77%) reportou que o concreto produzido com RCD foi usado em “bases de aterros/estradas”, enquanto apenas 23% o designaram para a produção de novos concretos. Vale ressaltar que a maioria dos participantes da pesquisa de Jin e Chen (2015) estava confiante na reciclagem de materiais do tipo RCD.

Em média, o Canadá gera mais de 33 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos ao ano, sendo a maior parte enviada para aterros, em 2012 (STATISTICS CANADA, 2015 -tabela 153-0042, STATISTICS CANADA, 2015 -tabela 153-0041). Entre outras fontes de resíduos, os RCD são produzidos em uma quantidade superior a 9 milhões de toneladas, enquanto a taxa de reciclagem de outros materiais é de apenas 7% (STATISTICS CANADA, 2015, Tabela 153-0043). Apesar do Canadá gerir quantidades menores de resíduos (RCD) do que os Estados Unidos, as taxas de reciclagem são mais baixas e a maior parte do material acaba em aterros sanitários.

Yeheyis *et al.* (2013) indicaram que não há informações precisas sobre o tipo e a composição desses resíduos que são enviados para aterros, os não são apenas

prejudiciais ao meio ambiente, mas também podem representar uma ameaça potencial aos ecossistemas terrestres e aquáticos. A maioria dos resíduos gerados pela indústria da construção contém elementos ou materiais “nocivos”, como é o caso do amianto, mercúrio, tinta à base de chumbo etc. Ainda que essas substâncias nocivas sejam proibidas devido à sua associação com doenças graves, elas são encontradas em antigas edificações, bem como em prédios que não seguiam as regulamentações no momento da construção. Por isto, um sistema de processamento apropriado precisa ser desenvolvido para possibilitar o monitoramento contínuo dos RCD.

O Brasil divide os resíduos sólidos de construção e demolição (RCD) em diferentes categorias, denotadas pelas letras A, B, C e D, as quais são ilustradas na Figura 2. A “Classe A” corresponde à maior parte dos resíduos, aproximadamente 90%, incluindo argamassa, concreto, sobras de tijolos e solo escavado. Outros resíduos reutilizáveis e recicláveis incluem plásticos, borracha, metais e madeira, que se enquadram na categoria B. A classe D contém materiais perigosos e a classe C contém materiais que não podem ser recuperados e reutilizados por meio de processamento tecnológico adequado. As principais atividades geradoras de RCD são as obras da construção civil, incluindo-se as reformas e demolições, que representam, em média, 60% da geração total dos resíduos sólidos urbanos. Neste contexto, as escavações de solo apresentam pouca contribuição (FAVARETTO *et al.*, 2017). A produção anual de RCD no Brasil é estimada em mais de 70 milhões de toneladas. Apesar da implementação de novas Leis e legislação pertinente à reciclagem de resíduos sólidos pelo governo, as taxas de reciclagem ou reaproveitamento dos RCD são baixas (CONTRERAS *et al.*, 2016); (PAZ e LAFAYETTE, 2016).

Figura 2 – Classificação dos RCD

Classe A	Classe B
<p>Tijolo Telhas Areia e outros (Trituráveis).</p> 	<p>Papel Papelo Plástico Madeira</p> 
Classe C	Classe D
<p>Gesso Isopor e outros (Não recicláveis)</p> 	<p>Tinta Verniz Solventes (Resíduos perigosos)</p> 

Fonte: Residuoall (2017).

No Brasil fora criada uma Lei para conferir diretrizes ao gerenciamento de resíduos sólidos. A Política

Nacional de Resíduos Sólidos é tratada pela Lei Federal Nº 12.305 (2010), sendo esta a principal Lei pertinente ao tema. A referida Lei trata, ao longo dos seus 57 artigos, de questões ambientais, deixando evidente a responsabilidade de todos que geram resíduos sólidos, seja o setor público ou privado, pessoa física ou jurídica, de forma direta ou indireta, mostrando que todos são responsáveis pelos resíduos que geram.

A partir da promulgação da Lei nº 12.305 (2010), que trata das questões relacionadas à gestão dos resíduos sólidos, grandes mudanças focadas na preservação do meio ambiente foram implementadas, de forma que a referida Lei se tornou um marco na legislação nacional quanto ao tema.

O desenvolvimento do plano de resíduos sólidos passou a ser de fundamental importância, ajudando assim quanto à melhorias na destinação e reaproveitamento dos resíduos. Desta forma podem surgir incentivos significativos do poder público com recursos e financiamentos mais vantajosos para quem seguir as diretrizes da Lei, trazendo assim melhorias para os habitantes e para a preservação do meio ambiente.

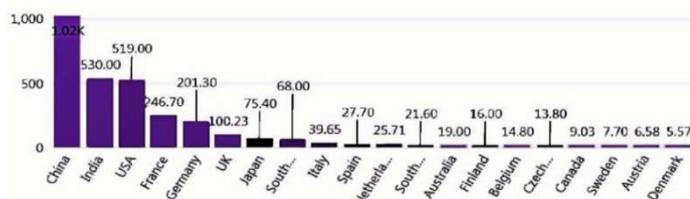
Assim como o Brasil, o México também classificou os resíduos (RCD) nas categorias A, B e C. A categoria A inclui concreto, argamassa, produtos e subprodutos correlacionados, enquanto a categoria B inclui materiais escavados, incluindo solo e pedra. A classe C contém os materiais restantes, como madeira, metal, vidro e plástico. Entretanto, estabelecem limites anuais para a reutilização e reciclagem de cada categoria de material. Os resíduos de “classe A” devem ser reciclados em pelo menos 30%, mas a porcentagem de reciclagem deverá ter incremento de 15% ao ano, podendo chegar a 100% (GARCÍA *et al.*, 2012). Em comparação com o Brasil, a geração de resíduos de construção e demolição do México é bastante baixa, aproximadamente 12 milhões de toneladas por ano, equivalente a 0,09 toneladas por ano per capita (AGUILAR-PENAGOS *et al.*, 2017).

4.1.3 Europa

Entre os países europeus, a Áustria possui de forma prioritária um amplo sistema de gestão de resíduos, com uma das maiores taxas de coleta e reciclagem da Europa. A eficiência não é apenas uma marca registrada no campo da gestão de resíduos neste país, pois o cumprimento de políticas rígidas de eliminação de resíduos também desempenha um papel importante e marcante. A gestão de resíduos na Áustria colaborou com 1.2 bilhões de euros na economia do país e gerou 14.779 empregos (MAYR, 2014). Entretanto, os resíduos do tipo “RCD” são potencialmente prejudiciais quando descartados em aterros sanitários, devendo esta prática ser em último caso (DELOITTE, 2015). Em relação aos RCD, a taxa de reciclagem

grandes quantidades de RCD, a França está menos focada na reciclagem, com uma taxa de reciclagem de quase 45% em 2011 (CALVO *et al.*, 2014). A Alemanha produz uma quantidade semelhante de resíduos, mas tem uma taxa de reciclagem mais alta, quando comparada à França. A Alemanha gera cerca de 200 milhões de toneladas de RCD ao ano, com uma taxa de reciclagem atingindo mais de 80% (LI *et al.*, 2013; BRAVO *et al.*, 2015). As eficiências no campo da gestão total de resíduos geram cerca de 40 bilhões de euros e cerca de 200.000 pessoas trabalham na indústria de gestão de resíduos em toda a Alemanha (NELLES *et al.*, 2016). Segundo um relatório feito em 2010, encontrado no estudo de Themelis e Leonzio (2014), a Itália gerou 130 milhões de toneladas de resíduos não perigosos, incluindo resíduos de construção e demolição, resíduos industriais e resíduos através de diferentes processos de tratamento. As tendências de geração de resíduos (RCD) são mostradas na Figura 4, a qual indica que a produção anual de RCD na Itália equivale a 40 milhões de toneladas, com taxa de reciclagem correspondendo a 75%.

Figura 4 – Geração anual de RCD em milhões de toneladas por país.



Fonte: (HYDER CONSULTING ENCYCLE CONSULTING & SUSTAINABLE RESOURCE SOLUTIONS, 2011).

Hendriks e Pietersen (2000) afirmaram que a demanda por matérias-primas na Holanda gira em torno de 150 milhões de toneladas por ano. Segundo Eurostat (2012), a produção de RCD na Holanda ascende a 81 milhões de toneladas, enquanto Deloitte (2014) apresentou à Comissão Europeia valor correspondente a 25 milhões de toneladas. Esta diferença deve-se principalmente ao fato de a maior parte dos resíduos se encontrarem na forma de espólios de dragagem. Os resíduos (RCD) representaram 40% da geração total de resíduos [sólidos urbanos] na Holanda, mantendo a taxa de reciclagem em 80% (MULDERS, 2013). O Ministério Holandês da Habitação (2010) relatou que o concreto e tijolos produzidos com materiais residuais reciclados e utilizados em diferentes aplicações construtivas podem reduzir o impacto ambiental em 6%.

A Suécia gera quase 8 (oito) milhões de toneladas de resíduos (RCD) por ano (DELOITTE, 2015). Apenas 10% dos resíduos (RCD) consistem em materiais perigosos, de acordo com a Agência de Proteção Ambiental Sueca (2012). Apesar da quantidade anual de resíduos sólidos provenientes das construções e

demolições ser inferior em relação a outros países europeus, a Suécia atingiu o valor de 50% em relação à taxa de reciclagem de RCD à época. A Agência Ambiental Sueca se comprometeu em elevar a taxa de reciclagem supracitada para 70%, em poucos anos subsequentes (ÖSTLUND, 2011).

A Espanha gera cerca de 30 milhões de toneladas de resíduos (RCD), o que representa cerca de um terço da produção total de resíduos sólidos do país (RODRÍGUEZ *et al.*, 2015). Os principais componentes dos resíduos RCD na Espanha são tijolos, telhas e outros tipos de cerâmica, representando 54% do total de resíduos do tipo RCD, seguidos pelo concreto (12%) (RODRIGUEZ-ROBLES *et al.* 2015). Em 2012, a Europa gerou cerca de 200 milhões de toneladas de resíduos, a maioria (81%) proveniente do Reino Unido. O Reino Unido já atingiu a meta estabelecida da União Europeia (UE) de 70% de reciclagem de resíduos de construção não perigosos até 2020.

4.1.4 Ásia

A Índia gerou 530 milhões de toneladas de resíduos do tipo RCD, tornando-se o segundo maior país gerador do mundo, assim como mostra a Figura 4. Nesse contexto, a verdade surpreendente é que os padrões indianos não permitem o uso de agregados reciclados para produção de concretos, de acordo com a IS 383 (1970, Second rev.), que incentiva apenas o uso de materiais de origem “natural” (CENTER FOR SCIENCE AND ENVIRONMENT INDIA, 2014). Há um método limitado na Índia para estimar o desperdício nacional de RCD, cujo desperdício ignora os enormes recursos que poderiam ser usados, com vantagens econômicas e ambientais. A norma IS 456 : 2000 autoriza o uso de britagem de tijolos queimados e escórias para produção de concreto comum, a menos que afete significativamente as propriedades de resistência e durabilidade. Esta Norma não se refere especificamente aos agregados reciclados das atividades de demolição. A Índia deve começar a pensar em sua estratégia de gestão de resíduos das construções e demolições, tal como já fazem os países europeus e outros localizados nos demais continentes. São necessárias iniciativas governamentais para incentivar o uso de agregados reciclados de RCD para produção de argamassas e concretos, o que poderia trazer impactos econômicos e ambientais desejáveis.

A China gerou o maior volume mundial de resíduos do tipo RCD, ultrapassando 1 bilhão de toneladas em 2012 e 1,13 bilhão de toneladas em 2014 (LU, 2014). Uma estimativa precisa e abrangente sobre a quantidade anual de RCD gerado pela China é difícil de ser determinada devido à complexidade das variáveis e à incapacidade de coletar sistematicamente este material residual. Portanto, as estimativas podem conter um

certo grau de imprecisão. O rápido desenvolvimento de infraestrutura e centros financeiros para muitas empresas de rápido crescimento na China contribuiu para a geração de grandes quantidades de resíduos do tipo RCD no país. A maioria dos resíduos vem na forma de solo escavado e rochas (LU, 2014), que têm potencial para serem reaproveitados, mas ainda não há dados de reciclagem e reutilização pertinentes a estes materiais residuais. Neste cenário, há necessidade de desenvolver um método sistemático de gestão simultânea e centralizada que possa monitorar o rastreamento completo dos resíduos (RCD), desde a geração até o uso final em cada cidade e província de um país tão geograficamente diversificado, como é o caso da China.

O Japão gerou aproximadamente 75 milhões de toneladas de resíduos sólidos provenientes das construções e demolições (RCD), em 2011, conforme ilustra a Fig. 3, anteriormente apresentada, e na qual observa-se a tendência de queda da produção de RCD de 99 milhões de toneladas para 85 milhões de toneladas em 1996 e 2001, respectivamente. O Japão determinou meta para atingir uma taxa de reciclagem de até 95% dos resíduos (RCD), de acordo com Nakajima e Futaki (2002). As taxas de reciclagem cresceram de 57% em 1996 para 90% em 2008, na categoria de resíduos de construção e blocos de concreto asfáltico. Esta mudança significativamente crescente correlacionou-se à implementação da Lei relativa à reciclagem de materiais de construção, em maio de 2002, para incentivar o uso de materiais reciclados na indústria da construção (GLOBAL ENVIRONMENT CENTER OSAKA JAPAN, 2012). No Japão, os materiais considerados obrigatórios para reciclagem, sob normalização pertinente, incluem concreto, aço, madeira e concreto asfáltico. A normalização aumentou a conscientização e a importância da reciclagem no país e reduziu a quantidade de resíduos enviados para aterros.

Ainda que tenha uma população e área menor que o Japão, a vizinha Coreia do Sul gerou cerca de 68 milhões de toneladas de resíduos RCD em 2011, com uma taxa de reciclagem de quase 98%, respondendo por quase 50% do total de resíduos (YANG *et al.*, 2015). O concreto e o asfalto foram os maiores constituintes desse resíduo com 65% e 18,9%, respectivamente (SOMASUNDARAM *et al.*, 2014). Em comparação com o Japão, os resíduos (RCD) da Coreia do Sul aumentaram de forma constante de 10 milhões de toneladas (1996) para 68 milhões de toneladas (2011), e a taxa de reciclagem aumentou de 58% para 98%, que deverá atingir 72 milhões de toneladas por ano até 2020 (YANG *et al.*, 2015). O Ministério do Meio Ambiente da Coreia está constantemente desenvolvendo políticas relacionadas à reciclagem de resíduos de construção e ao uso de agregados reciclados na indústria da

construção. O uso de agregados reciclados não apenas identifica fontes alternativas de material no país, mas também agrega 2,1 bilhões de dólares na economia (JAPÃO. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013). Estes dados são convincentes e dão uma ideia aproximada do impacto dessa vasta fonte de material reciclável e reciclado no país.

4.1.5 África

A África do Sul produziu mais de 100 milhões de toneladas de resíduos por ano e, em 2011, a maioria dos resíduos (> 90%) era normalmente descartada em aterros (VAN WYK, 2014). Os resíduos sólidos de construções e demolições (RCD) estão próximos de 21 milhões de toneladas, que corresponde a uma parcela significativa do total de resíduos gerados no país, conforme mostra a Figura 4, anteriormente apresentada. A maior parte dos resíduos continha 27% e 23% de madeira e concreto, respectivamente. A reciclagem de RCD tem grande potencial na África do Sul. Por exemplo, a reciclagem de apenas 30% dos resíduos de concreto na Cidade do Cabo poderia adicionar aproximadamente 0,1 milhão de dólares à economia da cidade (GREENCAPE, 2015).

A taxa e a capacidade de reciclagem são baixas e estão em desenvolvimento, o que provavelmente aumentará seu potencial de utilização e reduzirá a carga sobre os aterros sanitários. A legislação também está em andamento e, atualmente, apenas os resíduos (RCD) não contaminados podem ser descartados em aterros sem revestimentos plásticos (GREENCAPE, 2015).

De acordo com Otoko (2014), a Nigéria gera mais de 15 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição. Os resíduos de concreto são um dos principais contribuintes para este setor, que muitas vezes precisa ser separado, triturado e peneirado. A Nigéria também tem estratégias inadequadas e deficientes quanto à reciclagem e reutilização de resíduos (RCD), resultando, na maioria dos casos, os descartes em aterros sanitários.

Segundo Martinez *et al.* (2019), em média, a geração global e anual de resíduos, provenientes das construções e demolições (RCD) em 40 países, excede a 3 (três) bilhões de toneladas e que, a partir de gestão e gerenciamento adequados, poderiam trazer vantagens econômicas, sociais e reduzir os impactos ambientais. A maioria dos resíduos (RCD), em muitos países, são provenientes de concreto velho (demolições). Como exemplo, nos Estados Unidos, 67% dos RCD são resíduos de concreto (velho), o que atinge aproximadamente 350 milhões de toneladas ao ano, em média.

Alguns países têm a significativa geração de resíduos sólidos a partir de escavação de solo, como a Áustria,

República Tcheca e a China, onde alguns dos resíduos gerados não se enquadram na categoria de RCD. A maioria dos resíduos (RCD) na Nova Zelândia, Croácia e África do Sul acaba em aterros sanitários. A China e Índia, os dois maiores países produtores de RCD, têm foco limitado na coleta adequada de dados, monitoramento e reciclagem de resíduos.

A correta gestão no processo de reciclagem de RCD fez diferenças econômicas em vários países. Nos Estados Unidos, de acordo com Jin e Chen (2015), os resíduos (RCD) contribuíram com mais de 7 bilhões de dólares para a economia e 2,1 bilhões de dólares na Coreia do Sul. (COREIA DO SUL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013). Dado os benefícios e potencialidades de conservação de recursos é imprescindível reciclar os resíduos de concreto (velho), transformando-os em agregados reciclados para reutilizações diversas na produção de novas argamassas e novos concretos que serão utilizados em vários propósitos construtivos. Neste contexto, a Índia apresentou foco restrito à coleta adequada de dados, monitoramento e reciclagem de resíduos.

A partir da revisão bibliográfica feita no presente estudo, algum consenso pode ser extraído, tal como é o caso da eficácia da “Análise de Fluxo de Material” (AFM) que pode ser melhorada usando fontes de dados mais abrangentes e precisos. Por outro lado, em vários casos, a geração de resíduos é negligenciada ou indistinta, com desperdícios nas etapas de transporte, armazenamento, manuseio e produção (reciclagem) do material residual. Algo relevante foi a recomendação de Bertram *et al.* (2002) quanto à criação de uma base de dados pública centralizada, para receber, registrar e disponibilizar todas as informações pertinentes à geração e composição dos resíduos. Também, de forma consensual, verificou-se que alguns estudos sugerem que a classificação e o tratamento adequados e eficazes de resíduos sólidos, em canteiros de obras, podem efetivamente aumentar a qualidade dos materiais residuais reciclados e reduzir o descarte em aterros diversos.

A triagem, relativa ao material residual gerado em canteiros de obras, pode ser um processo caro e complexo, limitado por fatores como nível de tecnologia de triagem, qualidade e desempenho dos equipamentos utilizados, habilidade e capacitação do trabalhador, pureza do tipo de resíduo, tempo de processamento, espaço do local, custos etc. Outrossim, o potencial de recuperação e reutilização de resíduos (RCD) não se apresentou satisfatoriamente explorado, em vários países, e esforços adicionais são urgentemente necessários, incluindo políticas e estratégias nacionais, métodos analíticos eficazes, técnicas de tratamento, usos de tecnologias, gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos do tipo RCD.

No que se refere às “Análises de Fluxo de Materiais (AFM), as abordagens combinatórias têm recebido mais atenção. Este fato pode ter ocorrido porque a gestão de resíduos requer projeto complexo, no qual a AFM, consumo de energia e avaliação geral de custos são elementos analíticos importantes. Além disso, no desenvolvimento urbano sustentável, a análise de elemento único, de forma isolada, pode não fornecer uma base válida para melhorias de políticas existentes, no contexto da reciclagem e descarte dos resíduos sólidos urbanos. Porquanto as abordagens combinatórias, correlacionadas à AFM, continuam sendo o principal método abordado em estudos pertinentes à gestão e ao gerenciamento de resíduos do tipo RCD.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resíduos de construção e demolição são uma parte significativa da produção mundial de resíduos sólidos urbanos, gerando cerca de, aproximadamente, 3 bilhões de toneladas em 2012, em 40 países analisados. Mesmo que estejam aumentando, esse fluxo de resíduos pode ser efetivamente reusado para minimizar o consumo de recursos naturais na crescente indústria da construção, bem como minimizar a quantidade de resíduos de construção e demolição que tem sido enviada para aterros sanitários. A reciclagem trouxe prosperidade às economias dos países envolvidos e criou milhares de empregos, o que pode ser chamado de “economia circular de resíduos”.

A reciclagem ou reutilização de resíduos sólidos, especialmente aqueles provenientes da indústria da construção civil, tem enorme potencialidade que pode ser explorada por intermédio de estratégias adequadas e eficazes, a partir de gestão e gerenciamento com foco em tecnologias inovadoras. Estas tecnologias devem permitir a reciclagem de RCD de forma quantitativa para que possa atender as mais diversas demandas construtivas. Como exemplo importante, tem-se a produção de argamassas e concretos compostos com agregados reciclados de RCD.

O manuseio adequado com agregados reciclados, juntamente com métodos tecnológicos de dosagem (mistura) permitirão que os novos materiais produzidos, ou seja, as argamassas e concretos compostos com agregados reciclados de RCD, possam ser usados de forma eficiente e garantir desempenho e durabilidade às construções. Recomenda-se substituir parcialmente o agregado natural por agregado reciclado, de acordo com os estudos e especificações da dosagem tecnológica (racional), a qual deve ser definida por profissional habilitado e especializado.

Para que um país possa efetivamente obter benefícios econômicos e ambientais com a reutilização ou reciclagem de materiais residuais, medidas de integração entre o poder público, empresas e sociedade necessitam ser muito bem implantadas, a partir de conscientização generalizada. Os benefícios relativos à minimização dos impactos ambientais indesejáveis, correlacionados aos resíduos sólidos urbanos, provenientes das construções e demolições, só ocorrerão de forma satisfatória quando houver políticas públicas, legislação pertinente, fiscalização adequada, processos de gestão e gerenciamento de obras eficazes e comprometidos com a questão do reuso e ou reciclagem de materiais residuais, sobretudo no que diz respeito aos resíduos sólidos provenientes das construções e demolições (“RCD”).

6 AGRADECIMENTOS

Prestamos os devidos agradecimentos ao nosso orientador Prof. M.Sc. Wesley Carlos Nunes, o qual se mostrou inteiramente dedicado a sanar nossas dúvidas e nos orientar com sua extensa experiência e jornada acadêmica. Agradecemos também à equipe de trabalho pertinente à biblioteca da Escola Politécnica da PUC-GO pelo apoio que possibilitou o acesso aos mais relevantes materiais acadêmicos que serviram para elaboração da presente pesquisa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos- Classificação**. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

- A. AGUILAR-PENAGOS, J. Gómez-Soberón, M. Rojas-Valencia. **Physicochemical, mineralogical and microscopic evaluation of sustainable bricks manufactured with construction wastes**. Appl. Sci., 7 (2017), p. 1012. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/app710101>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- A. KOHOUTKOVÁ, P. ŠTEMBERK. **An Overview of Present Recycling Techniques for concrete and Masonry Waste in the Czech Republic**. (2007), pp. 1-8, SB07 New Zeal. Pap. number 070.
- BARBOSA, J. **Destinação dos resíduos sólidos de construção e demolição do Município de Passo Fundo- RS: Desafios e Perspectivas**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2012.
- Bertram, M.; Graedel, TE; Rechberger, H.; Spataro, S. O ciclo contemporâneo do cobre europeu: subsistema de gestão de resíduos. Eco. 2002 , 42 , 43-57 Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800902001003?via%3Dihub>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

B.S. THOMAS, S. Kumar, P. Mehra, R.C. Gupta, M. Josep h, L.J. Csetenyi. **Abrasion Resistance of Sustainable Green Concrete Containing Waste Tire Rubber Particles**. Centre for Infrastructure, Sustainable Transportation and Urban Planning, Indian Institute of Science, Bangalore, Índia, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.110>>. Acesso em: 17 fev. 2022.

BRAVO ET AL., 2015aM. Bravo, J. de Brito, J. Pontes, L. Evangelista. **Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants**. J. Clean. Prod., 99 (2015), pp. 59-74. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.012>>. Acesso em: 04 abr. 2022.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 307/2002: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Publicada no DOU. 2002.

COCHRAN, KM; Townsend, TG **Estimativa da geração de detritos de construção e demolição usando uma abordagem de análise de fluxo de materiais**. Gestão de Resíduos. 2010 , 30 , 2247-2254.

C. MUÑOZ-RUIPEREZ, A. Rodríguez, S. Gutiérrez-González, V. Calderón. **Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates**. Departamento de Construcciones Arquitectónicas e Ingenierías de la Construcción y del Terreno, Universidad de Burgos, C/Villadiego s/n, 09001 Burgos, Spain, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.065>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

C.K. CHAU, J.M. Xu, T.M. Leung, W.Y. Ng. **Evaluation of the impactas os end-of-life management strategies for deconstruction of a high-rise concrete framed office Building**. Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong Special Administrative Region, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.019>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

C.F. HENDRIKS, H.S. PIETERSEN. **The Netherlands Sustainable Raw Materials - Construction and Demolition Waste - State-of-the-art Report of RILEM TC 165-SEM**. 2000, pp. 122-137.

C. ÖSTLUND. **Swedish waste management Baltic Sea Waste Management Conference**. Tallinn 2011. pp. 1-47.

D.H. Paz, K.P. Lafayette. **Forecasting of construction and demolition waste in Brazil**. Department of Civil Engineering, Pernambuco State University, Recife, Brazil, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0734242X16644680>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

D. BJEGOVIĆ. **Desenvolvimento de um sistema sustentável de gestão de resíduos de construção e demolição para a Croácia**. Constr. Gestão de Resíduos de Demolição. Plano 2008. Disponível em: <http://www.igh.hr/conwas/www/management_plan.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

- D. RODRÍGUEZ-ROBLES, J. García-González, A. Juan-Valdés, J.M.M. Pozo, M.I. Guerra-Romero. **Overview regarding construction and demolition waste in Spain.** *Environ. Technol.*, 36 (2015), pp. 3060-3070. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4908-5_3>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- DELOITTE. **Construction and Demolition Waste Management in Netherlands.** União Europeia 2015. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_The_Netherlands_Factsheet_Final.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- DELOITTE. **Construction and Demolition Waste Management in Netherlands.** 2014. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_The_Netherlands_Factsheet_Final.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- EUROSTAT. **Geração de Resíduos.** Disponível em: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasgen&lang=en>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- EUROSTAT. **Generation of Waste.** 2012. Disponível em: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_wasgen&lang=en>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- FONT VIVANCO, D.; Ventosa, IP; Durany, XG. **Indicadores centrais de gestão de resíduos de construção através da Análise de Fluxo de Materiais Espaciais: Índices de recuperação líquida e intensidade de transporte.** *Gestão de Resíduos.* 2012, 32, 2496-2510.
- F.P. GARCÍA, Y.R. Martínez, O.A.A. Sandoval, A.J.G. Martínez. **Recovery of waste of construction, demolition and mining tailings** *Int. J. Appl. Sci. Technol.*, volume 2, issue 7, pages 46-63, 2012. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2s2.084996504535&origin=inward&txGid=5e71fb6d44bcc09a6d715e70b90fe3e2&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- G.A. BLENGINI, E. GARBARINO. **Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix.** *Journal of Cleaner Production*, Volume 18, Issue 10-11, July 2010, Pages 1021-1030. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-77955229673&origin=inward&txGid=512fd61559ab898f9afb88cd8dff122b&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1>. Acesso em: 09 fev. 2022.
- G. RODRÍGUEZ, C. Medina, F.J. Alegre, E. Asensio, M.I. De Sánchez Rojas. **Assessment of Construction and Demolition Waste plant management in Spain: in pursuit of sustainability and eco-efficiency.** *J. Clean. Prod.*, 90 (2015), pp. 16-24. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.067>>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- GLOBAL ENVIRONMENT CENTER OSAKA JAPAN. **Laws and Support Systems for Promoting Waste Recycling in Japan.** 2012. Disponível em: <<http://nett21.gec.jp/Ecotowns/LawSupportSystems.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- GREENCAPE. **Waste Economy: Market Intelligence Report 2016** (2015). Disponível em: <<https://greencape.co.za/assets/GreenCape-Waste-MIR-2016.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- G.R. OTOKO. **Review of the use of construction and demolition waste in concrete.** *Int. J. Eng. Technol. Res.*, 2 (2014), pp. 1-8.
- Hassan, S.H.; Aziz, H.A.; Daud, N.M.; keria, R.; Noor, S.M.; Johari, I.; Shah, M.R. **The methods of waste quantification in the construction sites (A review).** In *AIP Conference Proceedings*; Amer Inst Physics: Penang, Malaysia, 2018.
- H.Y. LEUNG, J. Kim, A. Nadeem, J. Jaganathan, MP Anwar. **Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and silica fume.** Department of Civil Engineering, School of Engineering, Nazarbayev University, Kazakhstan, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.071>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- H. DAHLBO, J. Bachér, K. Lähtinen, T. Jouttijärvi, P. Suoheimo, T. Mattila, S. Sironen, T. Myllymaa, K. Saramäki. **Construction and demolition waste management – a holistic evaluation of environmental performance.** Finnish Environment Institute, P.O. Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.073>>. Acesso em: 11 mar. 2022
- HYDER CONSULTING ENCYCLE CONSULTING & SUSTAINABLE RESOURCE SOLUTIONS. **Construction and demolition waste status report.** *Manag. Constr. Demolition Waste Aust.* (2011). Disponível em: <<http://www.environment.gov.au/protection/national-waste-policy/publications/construction-and-demolition-waste-status-report>>. Acesso em: 26 fev. 2022.
- HEEREN, N.; Hellweg, S. **Rastreamento de Materiais de Construção no Espaço e no Tempo: Modelagem Prospectiva e Georreferenciada de Estoques e Fluxos de Materiais de Construção.** *J. Ind. Eco.* 2019, 23, 253-267.
- HAN, J. **Descobrimo a Dinâmica Espaço-temporal do Desenvolvimento de Infraestrutura Urbana: Um Estoque de Materiais de Alta Resolução Espacial e Análise de Fluxo.** *Ambiente. Sci. Tecnol.* 2018, 52, 12122-12132.
- HU, M.; van der Voet, E.; Huppes, G. **Dynamic Material Flow Analysis for Strategic Construction and Demolition Waste Management in Beijing.** *J. Ind. Ecol.* 2010 IS 383(SECOND REV). **Specification for Coarse and Fine Aggregate from Natural Sources for concrete.** Bur. Indian Stand, New Delhi, India (1970)
- J. MAYR. **Waste management in rural areas in Austria. Taking Waste Management into the future.** Brussels, 2014
- KARPINSK. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental.** Porto alegre, 2009
- K. HÖGLMEIER, G. Weber-Blaschke, K. Richter. **Potentials for cascading of recovered wood from building deconstruction—a case study for south-east Germany.** Technische Universität München, Holzforschung München, Winzererstr. 45, 80797 München, Germany, 2015. Disponível em:

- <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.030>>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- KAPUR, A. **O ciclo contemporâneo do cimento dos Estados Unidos. J. Mater. Ciclos de Gestão de Resíduos.** 2009, 11, 155-165.
- LEI FEDERAL Nº 12.305. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Brasília. 2010.
- L.P. ROSADO, P. Vital, C.S.G. Penteado, U. Arena. **Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil.** Journal of Cleaner Production., Volume 151, Pages 634-64210 May 2017, Pages 1021-1030. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85016496432&origin=inward&txGid=266c6dffcce7a8971d8b00945315abf9&featureToggles=FEATURE_NE_W_DOC_DETAILS_EXPORT:1>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- L. VAN WYK. **Towards net-zero construction and demolition waste Green Building Handbook,** South Africa (2014), pp. 132-141.
- L. MATKOVIC. **Gestão de Resíduos e Água na Croácia.** Disponível em: <www.awex-export.be/files/.../Waste-and-Water-Management-in-Croatia-2015.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- LOCKREY, S. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição no Vietnã: Oportunidades e desafios na prática.** J. Limpo. Prod. 2016, 133, 757-766
- L. MULDER. **High Quality Recycling of Construction and Demolition Waste in the Netherlands Utrecht University.** 2013.
- MOTA, Jane. **A destinação dos resíduos sólidos da construção civil em Manaus: do canteiro de obras ao destino final.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Pará. Belém, 2014.
- M. Inglis **Construction and Demolition Waste – Best Practice and Cost Saving (2007)**
- M.M. UL ISLAM, K.H. Mo, U.J. Alengaram, M.Z. Jumaat. **Durability properties of sustainable concrete containing high volume palm oil waste materials.** Centre for Innovative Construction Technology (CICT), Department of Civil Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.061>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- M.D. SAGHAFI, Z.A.H. Teshnizi. **Building deconstruction and material recovery in Iran: an analysis of major determinant.** Department of Architecture, Architecture School, College of Fine Arts, University of Tehran, Iran, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2087>>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- M. YEHEYIS, K. Hewage, MS Alam, C. Eskicioglu, R. Sadiq. **An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability.** Clean Technologies and Environmental Policy volume 15, pages81–91 (2013). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10098-012-0481-6>>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- M. CONTRERAS, S.R. Teixeira, M.C. Lucas, L.C.N. Lima, D.S.L. Cardoso, G.A.C. da Silva, G.C. Gregório, A.E. de Souza, A. dos Santos. **Recycling of construction and demolition waste for producing new construction material (Brazil case-study).** Department of Applied Physics, University of Huelva, Campus de Excelencia Internacional del Mar (CEIMAR), 21071 Huelva, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.044>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- M. RÜÜTELMANN. **C&D Waste Treatment in Estonia Estonian Recycling Cluster – Driving Force for Recycling.** 2015.
- M. CORONADO, E. Dosal, A. Coz, J.R. Viguri, A. Andrés. **Estimation of construction and demolition waste (C&DW) generation and multicriteria analysis of C&DW management alternatives: a case study in Spain.** Waste Biomass Valorization, 2 (2011), pp. 209-225. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12649-011-9064-8>>. Acesso em: 05 mar. 2022.
- M. NELLE, J. Grünes, G. Morscheck. **Waste management in Germany – development to a sustainable circular economy?** Procedia Environ. Sci., 35 (2016), pp. 6-14. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.001>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- MARTINEZ, O. **Análise estatística de entropia como ferramenta para economia circular: Prova de conceito otimizando um sistema de peneiramento de resíduos de baterias de íon-lítio.** J. Limpo. Prod. 2019, 212, 1568-1579.
- NOOR-UL-AMIN. **Use of clay as a cement replacement in mortar and its chemical activation to reduce the cost and emission of greenhouse gases.** Departamento de Química, Universidade Abdul Wali Khan, Mardan, Paquistão, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.022>>. Acesso em: 20 jan. 2022.
- N. MARINKOVIĆ, K. Vitale, N.J. Holcer, A. Džakula, T. Pavić. **Management of hazardous medical waste in Croatia.** Waste Manag., 2008, pp. 1049-1056. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.01.021>>. Acesso em: 20 mar. 2022.
- N. CALVO, L. Varela-Candamio, I. Novo-Corti. **A dynamic model for construction and demolition (C&D) waste management in Spain: driving policies based on economic incentives and tax penalties.** Sustain. Times, 6 (2014), pp. 416-435. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su6010416>>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- N.J. THEMELIS, G. LEONZIO. **Management of Municipal Solid Wastes in Italy 1–3.** 2014
- P.O. AWOYERA, J.O. Akinmusuru, J.M. Ndambuki. **Green concrete production with ceramic wastes and laterite.** Department of Civil Engineering, Covenant University, PMB 1023 Ota, Nigeria, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.108>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- P. FAVARETTO, G. Hidalgo, C. Sampaio, R. Silva, R. Lermen. **Characterization and use of construction and demolition waste from south of Brazil in the production of foamed concrete blocks.** Post-Graduation Program in Civil Engineering (PPGEC), Department of

- Civil Engineering, Polytechnic School, Meridional College (IMED), Passo Fundo, Rio Grande do Sul 99070-220, Brazil, 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/7/10/1090>>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- P. VILLORIA-SAEZ, M.D.R. Merino, C. Porras-Amores, A.D.S.A. González. **European legislation and implementation measures in the management of construction and demolition waste.** Open Constr. Build. Technol. J., 2011, pp. 156-161. Disponível em: <<https://doi.org/10.2174/1874836801105010156>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- R. JIN, Q. CHEN. **Investigation of concrete recycling in the U.S. Construction industry.** University of Nottingham Ningbo China, 199 TaikangEast Rd., Ningbo 315100, China, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.528>>. Acesso em: 26 fev. 2022
- S. BUTERA, T.H. Christensen, T.F. Astrup. **Life cycle assessment of construction and demolition waste management.** Technical University of Denmark, Department of Environmental Engineering, Building 115, 2800 Lyngby, Denmark, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X15300283?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 jan. 2022
- STATISTICS CANADA. **Table 153-0041-Disposal of Waste, by Source, Canada, Provinces and Territories.** CANSIM 2015. Disponível em: <<http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&retrLang=eng&id=1530042&pattern=1530041.1530045&tabMode=dataTable&srchLan=-1&p1=-1&p2=-1>>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- S. NAKAJIMA, M. FUTAKI. **National R&D project to promote recycle and reuse of timber constructions in Japan – the second year's results.** CIB/TG39 Deconstruction Meeting. Karlsruhe. Germany. CDROM (2002).
- STATISTICS CANADA. **Table 153-0042-Disposal of Waste, by Source, Canada, Provinces and Territories.** CANSIM 2015. Disponível em: <<http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&retrLang=eng&id=1530042&pattern=1530041.1530045&tabMode=dataTable&srchLan=-1&p1=-1&p2=-1>>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- STATISTICS CANADA. **Table 153-0043-Disposal of Waste, by Source, Canada, Provinces and Territories.** CANSIM 2015. Disponível em: <<http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=eng&retrLang=eng&id=1530043&pattern=1530041.1530045&tabMode=dataTable&srchLan=-1&p1=-1&p2=-1>>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- S. SOMASUNDARAM, T.-W. Jeon, Y.-Y. Kang, W.-I. Kim, S.-K. Jeong, Y.-J. Kim, J.-M. Yeon, S.K. Shin. **Characterization of wastes from construction and demolition sector Environ. Monit. Assess.,** 187 (4200) (2014). Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10661-014-4200-0>>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- SERRENHO. **AC Testando o potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa de estratégias alternativas para o parque habitacional inglês.** Recurso. Conserv. Recicle. 2019, 144 , 267-275.
- SCHILLER, G.; Gruhler, K.; Ortlepp, R. **Abordagem de análise de fluxo contínuo de materiais para materiais de construção minerais não metálicos a granel aplicada ao setor de construção alemão.** J. Ind. Eco. 2017, 21 , 673-688.
- SURAHMAN, U.; Higashi, O.; Kubota, T. **Avaliação do estoque de material atual e resíduos de demolição futuros para edifícios residenciais urbanos em Jacarta e Bandung, Indonésia: Energia incorporada e análise de emissões de CO2.** J. Mater. Ciclos de Gestão de Resíduos. 2017, 19 , 657-675.
- T. FARRELLY, C. Tucker. **Action research and residential waste minimisation in Palmerston North, New Zealand.** Social Anthropology Programme, School of People, Environment, and Planning, Massey University, Private Bag 11222, Palmerston North 4474, New Zealand, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.07.003>>. Acesso em: 01 mar. 2022.
- T. TOWNSEND, C. Wilson, B. Beck. **The Benefits of Construction and Demolition Materials Recycling in the United States 2014.**
- TANGTINTHAI, N.; Heidrich, O.; Manning, DAC **Papel da política na gestão de recursos minerados para construção na Europa e economias emergentes.** J. Ambiente. Gerenciar 2019, 236, 613-621.
- TEH, SH; Wiedmann, T.; Moore, S. **Avaliação do ciclo de vida híbrido de unidade mista aplicada à reciclagem de materiais de construção.** J. Eco. Estrutura. 2018, 7, 13.
- USEPA. **Municipal Solid Waste Generation, Recycling, and Disposal in the United States: Facts and figures for 2012.** US Environmental Protection Agency. Disponível em: <<https://www.epa.gov/landfills>>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- USEPA. **EPA Advancing Sustainable Materials Management: Facts and figures 2013 186 (2015).** US Environmental Protection Agency. Disponível em: <<https://www.epa.gov/landfills/industrial-and-construction-and-demolition-cd-landfills>>. Acesso em: 01 mar. 2022.
- W. LU. **Estimating the amount of building-related construction and demolition waste in China** Proc. 18th Int. Symp. Adv. Constr. Manag. Real Estate 3599 (2014), pp. 539-548. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/978-3-642-44916-1-52>>. Acesso em: 04 abr. 2022.
- W.-S. YANG, J.-K. Park, S.-W. Park, Y.-C. Seo. **Past, present and future of waste management in Korea.** J. Mater. Cycles Waste Manag., 17 (2015), pp. 207-217. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10163-014-0301-7>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- ZHANG, CB; Hu, MM; Dong, L.; Xiang, PC; Zhang, Q.; Wu, JB; Li, B.; Shi, SY. **Co-benefícios da reciclagem de concreto urbano na mitigação das emissões de gases de efeito estufa e mudança no uso da terra: um caso na metrópole de Chongqing, China.** J. Limpo. Prod. 2018, 201 , 481-498.