

Modelo de previsão da geração de resíduos de construção e demolição para cidades brasileiras de médio porte populacional

Construction and demolition waste generation forecasting model for medium-sized Brazilian cities

Raphael Lúcio Reis dos Santos^{1*} , Conrado de Souza Rodrigues² ,
Guilherme de Castro Leiva¹ , Armando Belato Pereira³ 

RESUMO

A geração de resíduos está aumentando em função do crescimento da população, urbanização e desenvolvimento econômico, especialmente nos países em desenvolvimento. O conhecimento do quantitativo de resíduo de construção e demolição gerado por meio de previsões pode auxiliar os tomadores de decisões a adotarem práticas mais eficientes de gestão, sendo fundamentais para prevenir o desenvolvimento dos problemas ambientais. O objetivo deste artigo foi desenvolver um modelo de previsão de geração dos resíduos de construção e demolição para cidades brasileiras de médio porte populacional, utilizando como estudo de caso o município de Varginha (MG). Foi elaborado um modelo linear múltiplo ($R^2 = 0,880$), empregando como variáveis independentes a expansão urbana, o Produto Interno Bruto (PIB) e o PIB *per capita* para prever o quantitativo de resíduo de construção e demolição gerado em 2020 e a quantidade de resíduo que será produzida em 2040 no município. Os resultados da aplicação do modelo indicaram aumento de 18,27% no quantitativo de resíduo de construção e demolição gerado no município, quando comparados o cenário de 2020 (39.940 t) e de 2040 (47.238 t). Também foi verificada a eficiência do modelo ao aplicá-lo em outras seis cidades brasileiras de similar porte populacional e que possuíam pesquisas sobre a geração de resíduo de construção e demolição. A diferença do quantitativo de resíduo de construção e demolição obtido pelos autores e os calculados pelo modelo foram inferiores a 13%. Os resultados desta pesquisa podem contribuir para o desenvolvimento de estratégias de gestão de resíduos de construção e demolição eficientes, já que fornece uma ferramenta para resolução dos problemas ambientais atuais e também permite a adoção de ações proativas para a correta gestão em cenários futuros.

Palavras-chave: construção sustentável; gestão de resíduos; resíduos da construção civil.

ABSTRACT

Waste generation is increasing due to population growth, urbanization, and economic development, especially in developing countries. Knowledge obtained on the generation of construction and demolition waste through forecasts can help decision makers adopt more efficient management practices, being fundamental to prevent the development of environmental issues. The objective of this article was to develop a model for forecasting the generation of construction and demolition waste for medium-sized Brazilian cities, using data from the municipality of Varginha, Minas Gerais. A multiple linear model ($R^2 = 0.880$) was developed using Urban expansion, Gross Domestic Product (GDP), and GDP *per capita* as independent variables to predict the amount of construction and demolition waste generated in 2020 and the amount that will be produced in 2040 in the municipality. The results of applying the model indicated an increase of 18.27% in the amount of construction and demolition waste generated in the municipality, when comparing the 2020 (39,940 t) and 2040 (47,238 t) scenarios. The efficiency of the model was also verified when applying it in six other Brazilian cities of similar population size and that had research carried out on the generation of construction and demolition waste. The difference between the amount of construction and demolition waste obtained by the authors and those calculated by the model was less than 13%. The results of this research can contribute to the development of efficient construction and demolition waste management strategies, considering that it provides a tool for the resolution of current environmental problems and also allows the adoption of proactive actions for the correct management in future scenarios.

Keywords: sustainable construction; waste management; civil construction waste.

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Transportes - Belo Horizonte (MG), Brasil.

²Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil - Belo Horizonte (MG), Brasil.

³Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Computação e Engenharia Civil - Varginha (MG), Brasil.

*Autor correspondente: raphaelreisantos@hotmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 09/04/2022 - Aceito: 18/02/2023

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a urbanização se desenvolveu globalmente a uma taxa expressiva, atingindo 55% e com previsão de alcançar 68% até 2050 (ONU, 2018), sendo o percentual da população total que vive atualmente em áreas urbanas de 57,96% na China, 82,06% nos Estados Unidos (RITCHIE; ROSER, 2019) e 84,72% no Brasil (IBGE, 2015). Este processo contínuo e intenso de crescimento das cidades promove um dos principais problemas observados na sociedade moderna: a produção de resíduos sólidos (FERREIRA, 2019).

A construção civil exerce grande influência sobre os três aspectos da sustentabilidade: ambiental, social e econômico; sendo um contribuinte expressivo para o PIB dos países (SMOL et al., 2015). No entanto, apesar de seus benefícios econômicos e sociais, a construção civil cria sérios problemas ambientais durante todo o ciclo de vida das edificações; em função, principalmente, da geração de RCD (GENG et al., 2017). De acordo com Boscov (2008) e Yuan (2013), o RCD é o principal componente dos resíduos sólidos urbanos, representando percentual de até 40% da quantidade total dos resíduos gerados (WANG et al., 2018).

Desta forma, devido ao aumento da urbanização e conseqüentemente das construções, a gestão adequada do RCD é considerada fundamental para uma economia circular (LI et al., 2018). Baptista e Romanel (2013) e Pan, Xie e Feng (2020) argumentam que uma estratégia eficiente de gestão para reduzir os impactos causados pelo acúmulo de RCD é aumentar as taxas de reciclagem, proporcionando a valorização econômica do resíduo pela indústria da construção civil.

Enquanto há países europeus, como Alemanha, Dinamarca e Holanda, em que a taxa de reciclagem do RCD já supera 70%, meta estabelecida pela União Europeia (ERLANDSSON; LEVIN, 2005), apenas 8% do RCD coletado no Brasil é destinado à reciclagem (NUNES; MAHLER, 2020). Diferentemente do que ocorre nos países europeus, no Brasil não há metas estabelecidas para a reciclagem de RCD, o que dificulta a ampliação da reutilização desses resíduos (BOHNENBERGER et al., 2018).

Todavia, de acordo com Huang et al. (2020), uma forma de promover a ampliação da reciclagem é prever a quantidade de RCD que será gerado, uma vez que esta informação auxilia na implantação de instalações de recepção de resíduos mais eficientes. Além disto, Wu et al. (2014) afirmam que a previsão da geração de RCD é considerado um pré-requisito na prática de uma gestão de resíduos adequada, porque possibilita aos tomadores de decisões desenvolver regulamentações apropriadas (LU; YUAN, 2011).

Em função da ausência de informações confiáveis da geração total de RCD, inúmeras metodologias têm sido propostas na literatura para prever a geração destes resíduos (WU et al., 2014; ZHANG et al., 2019). Estes métodos envolvem a utilização de dados históricos sobre a geração dos resíduos de construção para prever a produção de RCD com base nesta série de informações disponíveis para determinado local (HUANG et al., 2020; QIAO et al., 2020).

Assim, uma abordagem utilizando o sistema dinâmico foi desenvolvida no estudo de Zhao, Ren e Rotter (2011). Os autores realizaram simulações em uma cidade chinesa para avaliar a implantação de diferentes tipos de infraestrutura de reciclagem de RCD. Uma das informações utilizadas nas simulações foi a geração futura de RCD no município, prevista pelos autores por meio de regressão linear entre o PIB (série de dados histórica de 1985 a 2007) e a área construída, para posteriormente prever a geração dos resíduos em função das construções. A relação proposta pelos autores entre o PIB e área construída é apresentada na Equação 1:

$$\text{Área construída} = 1,611 + 1,66 \times \text{PIB} \quad (1)$$

Menegaki e Damigos (2018) desenvolveram um modelo de regressão utilizando dados de 16 países (o Brasil não foi incluído) e de Hong Kong do ano referência de 2014, para relacionar a geração de RCD *per capita* com três variáveis independentes: o PIB da construção, o PIB *per capita* e a densidade populacional. Os autores concluíram que o RCD *per capita* gerado aumenta quando a atividade de construção (expressa por meio do PIB da construção), a riqueza do país (expressa por meio do PIB *per capita*) e a densidade populacional aumentam. A Equação 2 representa o modelo desenvolvido por Menegaki e Damigos (2018):

$$\text{RCD}_{\text{hab}} = -1,051 + 9,82 \times 10^{-7} \times \text{PIB}_c + 3,98 \times 10^{-5} \times \text{PIB}_{\text{hab}} + 3,28 \times 10^{-4} \times \text{D}_{\text{hab}} \quad (2)$$

Em que:

RCD_{hab} = quantitativo previsto de RCD gerado *per capita* (t);
 PIB_c = Produto Interno Bruto da construção civil (US\$ × 10⁶);
 PIB_{hab} = Produto Interno Bruto *per capita* (US\$/hab);
 D_{hab} = densidade populacional (habitantes/km²);

Por fim, Zhang et al. (2019) realizaram pesquisa sobre diferentes métodos de quantificação de RCD para países em desenvolvimento, utilizando a China como estudo de caso. Um dos métodos apresentados pelos autores utilizou a informação de 11 cidades chinesas para o desenvolvimento de modelo de regressão bivariada, relacionando o PIB *per capita* com a geração de RCD. Na Equação 3 é possível visualizar a relação entre as variáveis para a previsão da quantidade de RCD gerado.

$$\text{RCD} = 0,0028 \times \text{PIB}_{\text{hab}} - 7,8697 \quad (3)$$

Com base na regressão linear desenvolvida, os autores calcularam a taxa de geração de RCD *per capita*. Segundo Zhang et al. (2019), a quantidade *per capita* de RCD gerado poderia ser utilizada para estimar a geração nacional de RCD, uma vez que os dados históricos de cidades de pequeno e médio porte são limitados e as únicas informações disponíveis vêm dos principais municípios do país e que foram utilizados na pesquisa.

Em muitos casos, os municípios podem não possuir orçamento e capacidade de gestão suficientes para manter um banco de dados completo sobre a geração e previsão do quantitativo de RCD (DYSON; CHANG, 2005). Kanno, Waskow e Tubino (2020) afirmam que esta é uma realidade brasileira, pois existem limitadas informações sobre o quantitativo de RCD gerado pelos municípios, restritas a levantamentos como os realizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE).

Dados da ABRELPE (2020; 2021) indicaram que o Brasil coletou cerca de 47 milhões de toneladas de RCD em 2020, representando um crescimento de 5,5% em relação ao ano anterior. Em comparação com o ano de 2010, no qual foram coletados 33,4 milhões de toneladas de RCD, houve um aumento de 40,8% do RCD coletado. Verifica-se também um acréscimo nas taxas de coleta, que foram de 0,174 – 0,214 – 0,221 t/hab.ano de RCD coletado, respectivamente para os anos de 2010, 2019 e 2020. Na Tabela 1 é possível verificar a distribuição regional do RCD coletado no país nos anos de 2010, 2019 e 2020.

Tabela 1 - Resíduo de construção e demolição coletado no Brasil em 2010, 2019 e 2020.

Região	RCD coletado (Mt/ano)	Taxa (t/hab.ano)	RCD coletado (Mt/ano)	Taxa (t/hab.ano)	RCD coletado (Mt/ano)	Taxa (t/hab.ano)
	2010		2019		2020	
Norte	1,243	0,081	1,719	0,095	1,813	0,097
Nordeste	5,717	0,107	8,805	0,155	9,047	0,158
Centro-Oeste	4,014	0,289	4,838	0,301	5,271	0,319
Sudeste	17,151	0,212	23,243	0,265	24,497	0,275
Sul	5,252	0,190	5,930	0,199	6,370	0,211
Total	33,377	0,174	44,534	0,214	46,997	0,221

RCD: resíduo de construção e demolição.

Ressalta-se que não há informações da Associação sobre o montante total de RCD gerado e do quantitativo de resíduos depositados de forma irregular no Brasil. Akanbi *et al.* (2020) e Maués *et al.* (2020) ponderam que estimar a geração de RCD é particularmente oneroso e complexo, porque há grande variabilidade nos projetos de construção e demolição. Desta forma, imprecisões em relação à estimativa de RCD gerado são comuns em países em desenvolvimento, os quais apresentam limitadas estatísticas sobre a geração dos resíduos (AKANBI *et al.*, 2020; KANNO; WASKOW; TUBINO, 2020; MAUÉS *et al.*, 2020).

Sendo assim, ao contrário do que ocorre com os resíduos sólidos urbanos, ainda há poucas pesquisas desenvolvidas sobre a previsão da geração futura de RCD (YUAN; SHEN, 2011; LU *et al.*, 2017), sobretudo em municípios brasileiros. Portanto, é importante prever a geração de RCD de forma consistente em regiões com disponibilidade limitada de dados (RAM; KALIDINDI, 2017; ZHANG *et al.*, 2019).

Os municípios de médio porte populacional (100 a 500 mil habitantes) dispõem de poucos dados relacionados à geração de RCD, além disso, apresentam taxa de crescimento acima da média nacional (IBGE, 2000; 2010), gerando demanda por habitação, e consequentemente mais construções e seus resíduos. Córdoba *et al.* (2019) afirmam que o RCD pode representar até três vezes a quantidade dos outros tipos de resíduos sólidos gerados em municípios de médio porte populacional.

Desta forma, este artigo possui o objetivo de desenvolver um modelo de previsão de geração de RCD para municípios brasileiros de médio porte populacional, em função da sua representatividade, do grande quantitativo de resíduo gerado e devido à ausência de informações históricas relacionadas à geração de RCD neste tipo de município do país.

METODOLOGIA

Procedimentos metodológicos

Para satisfazer o objetivo desta pesquisa, sua estruturação e desenvolvimento foram fundamentados em aspectos conceituais, históricos e princípios relacionados aos RCDs e sua gestão; além do desenvolvimento do modelo de previsão de geração para estimar a quantidade de RCD gerada no ano de 2020 e em um cenário futuro (ano 2040). Desta forma, a metodologia desenvolvida envolveu três etapas:

- Na primeira etapa foi verificada a consistência dos dados disponíveis referentes à série histórica de geração de RCD do município selecionado para

a definição de método quantitativo da geração anual de RCD (variável dependente). Posteriormente, em função da ausência de dados consistentes, foi necessário aplicar um método que possibilitasse estimar o quantitativo de RCD gerado nos últimos anos, de maneira a gerar uma série de dados históricos do município;

- Na etapa seguinte, foram definidas as variáveis independentes (fatores que se relacionam com a produção de resíduos) para o desenvolvimento do modelo de previsão de geração de RCD dos municípios. Estas variáveis foram aplicadas no modelo de previsão para antever a quantidade de RCD gerado (variável dependente) nos anos de 2020 e 2040 no município de Varginha (MG);
- Por fim, na última etapa, aplicou-se o modelo desenvolvido em outros seis municípios de médio porte populacional (Ariquemes (RO), Criciúma (SC), Guarapuava (PR), Itabira (MG), Juazeiro do Norte (CE) e Passo Fundo (RS), com o objetivo de verificar a aplicabilidade do modelo desenvolvido em outros municípios brasileiros de similar porte populacional.

Portanto, de acordo com a classificação metodológica proposta por Nascimento (2016), trata-se de uma pesquisa aplicada, com abordagem quantitativa, exploratória, utilizando um estudo de caso como procedimento.

Área de estudo

Optou-se por restringir a aplicação do modelo desenvolvido nesta pesquisa ao Brasil em razão da particularidade de geração de resíduos de cada país e também devido à indisponibilidade de dados dos municípios de outros países. Além disto, outros autores também desenvolveram modelos de previsão para aplicação em um único país, conforme apresentado na introdução.

O município de Varginha (MG) foi selecionado para a área de estudo por ser classificado como de médio porte populacional, possuir usina de reciclagem de RCD privada em funcionamento e também por ter tomadores de decisão, ocupantes de cargos na administração pública, interessados em ampliar a reciclagem de RCD no município.

Trata-se de um município localizado na região sul do Estado de Minas Gerais, possui população estimada de 136.602 habitantes, distribuídos em área de 395,40 km², o que representa densidade demográfica de aproximadamente 344 hab/km² (IBGE, 2020). Em relação ao último censo realizado pelo IBGE (2010), que indicou população de 123 mil pessoas, houve um aumento de 10,57% dos habitantes. Portanto, trata-se de uma cidade de médio porte populacional, que apresenta alta taxa de crescimento (IBGE, 2000).

No que se refere ao RCD, a Prefeitura Municipal de Varginha (PMV) afirma no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) (PMV, 2013) que não há levantamento do volume ou massa dos resíduos coletados no município. Além disto, ressalta-se que não foi possível coletar informações sobre o RCD gerado em Varginha (MG) por meio do SNIS em função da ausência de dados consistentes no Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.

Já no seu Plano Diretor (PMV, 2017), a prefeitura informou que disponibilizou um local para implantação de usina de reciclagem de RCD em função do crescimento do município. Esta infraestrutura foi instalada no ano de 2015, sendo administrada por empresa privada, responsável por receber todas as caçambas contendo RCD do município (PMV, 2017). Embora possua usina de reciclagem de RCD, o município não dispõe de Ponto de Entrega Voluntária (PEV) e Área de Transbordo e Triagem (ATT).

Neste contexto, para o desenvolvimento de uma gestão de RCD eficiente, que busca a resolução dos problemas ambientais atuais e a adoção de ações proativas para cenários futuros, é indispensável prever a geração do RCD dos municípios brasileiros de médio porte populacional, incluindo Varginha (MG), que, assim como a grande maioria das cidades do Brasil, não dispõem de informações consistentes sobre a geração de RCD.

Obtenção de dados do município de Varginha (MG) para o desenvolvimento do modelo

Para desenvolver o modelo de previsão da geração de RCDs para cidades brasileiras de porte médio populacional, utilizou-se informações do município de Varginha, de modo a relacionar, por meio de regressão linear múltipla, a variável dependente (quantitativo de RCD gerado) com variáveis independentes que apresentavam correlação com a geração de RCD.

Foram utilizadas no modelo de previsão variáveis independentes citadas na literatura como as principais influenciadoras no aumento de geração de RCD, as quais possuíam os dados disponíveis para o município. Limitou-se o número de variáveis independentes em três, da mesma forma que no estudo realizado por Menegaki e Damigos (2018).

Dados da variável dependente

Em função da ausência de dados consistentes de séries históricas do quantitativo de resíduos gerados na cidade, o que é uma realidade de grande parte dos municípios brasileiros, sobretudo os de médio porte populacional, antes de desenvolver o modelo de previsão de geração de RCD, foi necessário selecionar um método que possibilitasse estimar o quantitativo de RCD gerado nos últimos anos, de maneira a gerar uma série de dados históricos do município.

Dentre as metodologias presentes na literatura e factíveis de serem aplicadas nesta pesquisa, conforme disponibilidade de informações, optou-se por utilizar uma adaptação do método direto desenvolvido por Pinto (1999), o qual relaciona o quantitativo de RCD gerado ao número de caçambas coletadas mensalmente, considerando seus respectivos volumes.

Portanto, para o cálculo do quantitativo de RCD gerado no município, foi consultado o responsável pela usina de reciclagem, que forneceu dados de que foram coletados diariamente em média 150 m³ de RCD ao longo do ano de 2020, incluindo os resíduos coletados em locais de deposição irregular e enviados pela prefeitura para a usina. Desta forma, foi aplicada a Equação 4 para obtenção da massa total de RCD gerada em Varginha no referido ano.

$$\text{RCD} = V \times D \times M \times m \quad (4)$$

Em que:

RCD = quantitativo de RCD gerado no ano de 2020 (t);

V = volume de RCD coletado diariamente (m³);

D = média do número de dias de operação em um mês;

M = número de meses de um ano;

m = massa específica do RCD (t.m⁻³).

O valor do parâmetro “m” foi definido com base no estudo realizado por Angulo *et al.* (2011). Os autores obtiveram valor de 1,0 t.m⁻³ para massa específica do RCD. Além disto, foram considerados 22 dias como a média de dias de operação da usina para cada um dos 12 meses do ano. A quantidade de RCD enviado ao aterro sanitário não foi considerada em função da indisponibilidade de dados, e também porque os resíduos enviados ao aterro sanitário não são separados, tornando inviável o levantamento do quantitativo de RCD destinado ao local.

Para quantificar a geração de resíduos por habitante em 2020, o total de resíduos gerados foi dividido pela população estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2020, conforme Equação 5.

$$\text{RCD}_{\text{hab}} = \frac{\text{RCD}}{\text{hab}} \quad (5)$$

Em que:

RCD_{hab} = quantitativo de RCD gerado por cada habitante no ano de 2020 (t/hab.ano);

RCD = quantitativo de RCD gerado no ano de 2020 (t);

Hab = população estimada do município em 2020 (hab).

Após o cálculo da geração de RCD por habitante em 2020, foi possível desenvolver uma série histórica da geração do RCD do município, a partir do ano 2000, por meio da aplicação do método de massa *per capita*. Trata-se de uma metodologia inicialmente aplicada no Plano Nacional de Detritos de Construção e Demolição da Espanha (ZHANG *et al.*, 2019), em que se calcula o total de RCD gerado pelo produto aritmético das quantidades de RCD gerado por habitante no ano e da população. Cochran e Townsend (2010) e Hu, van der Voet e Huppés (2010) utilizaram este método, combinado com outras abordagens, para estimar a geração de RCD em seus estudos.

Nesta pesquisa, a quantidade de RCD por habitante foi calculada pela Equação 5 e os dados relativos à população foram obtidos por meio do IBGE. Desta forma, obteve-se a variável dependente (quantitativo de RCD gerado) para o desenvolvimento de série histórica do RCD gerado no município entre os anos de 2000 e 2020.

Dados das variáveis independentes

Após a obtenção dos dados da variável dependente, partiu-se para definição das variáveis independentes do modelo. Seguindo as recomendações abordadas na pesquisa realizada por Kolekar, Hazra e Chakrabarty (2016), foram consideradas variáveis econômicas e demográficas que apresentaram informações públicas e consistentes.

Optou-se por limitar o número de variáveis em três, pois a consideração de um elevado número de variáveis pode impactar o estudo devido à necessidade

de grande número de amostras e longa base de dados (NOORI *et al.*, 2009). Além disto, conforme exposto na introdução, outros métodos de previsão de geração de RCD utilizaram número reduzido de variáveis independentes: apenas uma nos estudos de Zhao, Ren e Rotter (2011) e Zhang *et al.* (2019), e três na pesquisa desenvolvida por Menegaki e Damigos (2018).

De acordo com Gao, Gong e Yang (2018) e Pires, Martinho e Chang (2011), a expansão urbana é um dos fatores que gera um aumento na quantidade de resíduos. Já o crescimento do PIB pode ser considerado um dos aspectos que mais influencia a geração de resíduos (SOKKA; ANTIKAINEN; KAUPPI, 2007). Zhao, Ren e Rotter (2011) afirmam que um aumento nas áreas de construção, e conseqüentemente da geração de RCD, é provocado pela aceleração do PIB. Zhang *et al.* (2019) e Menegaki e Damigos (2018) concluíram que o RCD gerado aumentou quando o PIB *per capita* apresentou crescimento.

Embora o número de habitantes do município tenha relação direta com o quantitativo de RCD gerado, optou-se por não a utilizar como variável independente neste modelo, uma vez que os dados sobre a população foram empregados no desenvolvimento da série histórica da geração de RCD (informação que o município não possui). Deste modo, ao invés de utilizar uma variável com uma correlação perfeita positiva ($R = 1$), que seria o caso da variável população, optou-se por substituí-la pela variável PIB *per capita*. Sendo assim, pode-se utilizar, ainda que indiretamente, a população no modelo de previsão de geração de RCD. Modelagem similar foi desenvolvida nos estudos de Menegaki e Damigos (2018), que utilizaram duas variáveis com correlação e covariância forte em sua pesquisa: o PIB da construção civil e o PIB *per capita*.

Desta forma, foram consideradas como variáveis independentes do modelo nesta pesquisa: a expansão urbana, o PIB e o PIB *per capita*. As variáveis de expansão urbana (GRAZHDANI, 2015; LEBERSORGER; BEIGL, 2011; WEI *et al.*, 2013), PIB (CHUNG, 2010; SHI; XU, 2006) e PIB *per capita* (HU, VAN DER VOET; HUPPES, 2010; MENEGAKI; DAMIGOS, 2018; ZHANG *et al.*, 2019) já foram utilizadas em outros estudos de previsão de geração de resíduos sólidos.

As informações de área urbana foram obtidas no portal Mapa Biomas (2020). Já os dados do PIB e do PIB *per capita* foram adquiridos no site do IBGE (2020). De posse dos valores das variáveis, buscou-se uma correlação entre os parâmetros do modelo por meio da regressão linear múltipla, feita no Microsoft Excel. Foram considerados os dados entre 2000 e 2018, excluindo os anos 2019 e 2020, em função da disponibilidade de informações sobre o PIB e PIB *per capita*. Regressões lineares entre cada uma das variáveis independentes (expansão urbana, PIB e PIB *per capita*) e a variável tempo (ano) foram desenvolvidas para prever os valores destas nos anos de 2020 e 2040 e, assim, obter o quantitativo de RCD previsto para os referidos anos por meio da aplicação do modelo. Sendo assim, através da aplicação do modelo de previsão de geração de RCD, foi possível prever a quantidade de RCD gerado (variável dependente) nos anos de 2020 e 2040 no município de Varginha.

Aplicabilidade do modelo em cidades de porte médio populacional

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade do modelo desenvolvido em outros seis municípios brasileiros de médio porte populacional (Ariquemes (RO), Criciúma (SC), Guarapuava (PR), Itabira (MG), Juazeiro do Norte (CE) e Passo Fundo (RS), foi realizada consulta na literatura por pesquisas que quantificaram a geração de RCD em municípios com população entre 100 – 500 mil habitantes.

A quantidade de RCD calculada nestas pesquisas foi comparada com a aplicação do modelo para o mesmo ano referência utilizado pelos pesquisadores, empregando as variáveis independentes. Os dados das variáveis independentes de área urbana foram consultados no Mapa Biomas (2020); já a população, o PIB e o PIB *per capita* no site do IBGE (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelo de previsão de geração de resíduo de construção e demolição

O quantitativo previsto de RCD gerado no município de Varginha (MG) para o ano de 2020, calculado pela Equação 1, foi de 39.600 t. A partir do total de resíduos estimados gerados (39.600 t) e da população estimada (136.602 hab) para o ano de 2020, foi possível calcular a geração *per capita* de RCD do município para o referido ano.

Por meio da aplicação da Equação 2, calculou-se a geração de 0,29 t/hab. ano de RCD, valor de geração de resíduos por habitante dentro da faixa apresentada no estudo desenvolvido por Pinto (1999), que calculou a geração de RCD entre 0,23 e 0,76 t/hab.ano em municípios brasileiros.

Comparando o resultado da taxa de geração *per capita* calculada para Varginha com a pesquisa realizada por Pinto (1999), tem-se que o valor obtido no presente trabalho está próximo ao limite inferior de 0,23 t/hab.ano. Acredita-se que isto ocorre em função das especificidades do município e do método utilizado, que considerou o RCD recebido na usina de reciclagem, excluindo o RCD enviado ao aterro sanitário por indisponibilidade de dados e não segregação, impossibilitando a quantificação do RCD destinado a este local. A variação na previsão de geração de RCD ocorre quando são avaliados municípios diferentes, e também em razão do método aplicado pelos pesquisadores (JOHN; AGOPYAN, 2003).

Na Tabela 2 é possível visualizar os dados obtidos relacionados à área urbana, PIB e PIB *per capita* do município de Varginha (MG) utilizados no modelo de geração de RCD.

Pode-se observar que as variáveis independentes apresentaram crescimento entre 2000 e 2018, sendo a relação entre elas e a geração dos RCDs, com a aplicação de um modelo linear apresentado na Tabela 3.

O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,861, indicando 86,1% de variância da geração de RCD a partir da expansão urbana em um modelo linear. Observa-se uma correlação positiva muito forte entre as duas variáveis, uma vez que o coeficiente de correlação de Pearson (R) calculado foi de 0,928. Já a relação entre a geração de RCD (variável dependente) e o PIB apresentou R^2 de 0,853 e R igual a 0,923, também indicando uma relação linear satisfatória entre estas variáveis. Foi obtido valor de 0,834 para o coeficiente R^2 e de 0,913 para R na análise da relação linear entre a geração de RCD e o PIB *per capita*.

Desta forma, verificou-se que as variáveis independentes selecionadas possuíam relação adequada para o desenvolvimento do modelo desta pesquisa, quando analisadas de forma individual com a variável dependente (geração de RCD). Esta análise da relação entre as variáveis independentes e o quantitativo de RCD gerado também foi realizada nos modelos desenvolvidos por Zhao, Ren e Rotter (2011), Menegaki e Damigos (2018) e Zhang *et al.* (2019).

O modelo de previsão de geração de RCD para municípios de médio porte populacional apresentou valores 0,880 e 0,938 para R^2 e de Person, respectivamente. A expressão matemática obtida para o modelo pode ser vista na Equação 6.

$$RDC_{prev} = 32012,37 + 66,98 \times AU + 0,005573 \times PIB - 0,606481 \times PIB_{hab} \quad (6)$$

Em que:

RCD_{prev} = quantitativo previsto de RCD gerado (t);

AU = área urbana (km²);

PIB = Produto Interno Bruto (R\$ × 1.000);

PIB_{hab} = Produto Interno Bruto *per capita* (R\$/hab).

Ressalta-se que a inclusão de variáveis independentes com forte correlação e covariância (PIB e PIB_{hab}) não afetou de forma significativa o R² e de Person, que apresenta valores de 0,865 e 0,930, respectivamente, caso fosse desenvolvido um modelo tendo apenas duas variáveis independentes (área urbana e PIB). Além disto, embora o modelo desenvolvido por Menegaki e Damigos (2018) tenha utilizado três variáveis independentes (duas delas também com forte correlação e covariância), e apresente o mesmo número de graus de liberdade na equação, não é possível compará-lo com o modelo desenvolvido nesta pesquisa devido às particularidades de cada estudo desenvolvido. O mesmo ocorre com

Tabela 2 - Dados das variáveis utilizadas no modelo de geração de resíduo de construção e demolição.

Ano	Área urbana (km ²)	PIB (R\$ × 1.000)	PIB <i>per capita</i> (R\$/hab)	RCD (t)
2000	18,86	1.026.550	9.418,06	31.609
2001	19,73	1.039.480	9.348,83	32.329
2002	20,19	1.052.409	9.279,60	32.889
2003	20,37	1.190.417	10.310,21	33.483
2004	20,58	1.413.418	11.802,09	34.730
2005	20,72	1.743.855	14.277,51	35.421
2006	21,40	1.900.975	15.268,63	36.106
2007	21,77	2.460.065	19.394,87	36.784
2008	21,76	2.479.261	20.542,22	35.000
2009	22,52	2.694.418	22.123,84	35.319
2010	22,95	3.234.145	26.276,56	35.693
2011	23,51	3.547.542	28.571,88	36.007
2012	24,22	3.685.867	29.437,95	36.310
2013	25,25	4.064.743	31.233,86	37.740
2014	25,91	4.559.730	34.735,77	38.068
2015	26,63	4.609.287	34.825,71	38.382
2016	27,11	4.493.128	33.685,66	38.681
2017	27,12	5.444.355	40.519,45	38.966
2018	28,77	5.512.853	40.994,76	38.998

PIB: Produto Interno Bruto; RCD: resíduo de construção e demolição.

Tabela 3 - Relação entre a geração de resíduo de construção e demolição e as variáveis independentes.

Variável independente	Modelo linear	Coefficiente de determinação (R ²)	Coefficiente de correlação de Pearson (R)
Expansão urbana	y = 710,59x + 19490	0,861	0,928
Produto Interno Bruto	y = 0,0014x + 31920	0,853	0,923
PIB <i>per capita</i>	y = 0,1867x + 31578	0,834	0,913

PIB: Produto Interno Bruto.

os modelos de Zhao, Ren e Rotter (2011) e Zhang *et al.* (2019), que apresentam um número inferior de variáveis nas suas equações.

A partir da aplicação do modelo desenvolvido foi possível prever a geração de RCD no município de Varginha (MG). Na Tabela 4 são apresentadas as variáveis independentes e o RCD gerado previsto para os anos de 2020 e 2040, por meio da aplicação da Equação 6. As regressões lineares realizadas com a série de dados (Tabela 2) utilizadas para estimar as variáveis área urbana, PIB e PIB *per capita* nos anos de 2020 e 2040 apresentaram R² igual a 0,971; 0,979 e 0,980, respectivamente.

Observa-se que o modelo de previsão da geração de RCD aplicado ao município de Varginha estimou que serão geradas 47.238 t de resíduos em 2040, o que representa um aumento de 18,27% em relação ao quantitativo 39.940 t de RCD previsto para 2020.

Ao compararmos o quantitativo de RCD gerado calculado pelo método direto para o ano de 2020, de 39.600 t, com o quantitativo previsto pelo modelo (39.940 t), verifica-se variação de 0,81%. Este percentual baixo de variação entre os dois métodos de cálculo de geração de RCD demonstra a forte correlação (coeficiente de Person igual a 0,938) entre as variáveis independentes utilizadas no desenvolvimento do modelo com a geração de RCD.

Além disto, cabe ressaltar novamente que a utilização de variáveis independentes com forte correlação e covariância (PIB e PIB_{hab}) não afetou de forma significativa os resultados desta pesquisa, uma vez que se fosse considerado um modelo com duas variáveis independentes (área urbana e PIB, excluindo o PIB_{hab}), seriam previstos 40.008 e 47.452 t de RCD gerados em 2020 e 2040, respectivamente. Estes valores representam uma variação de apenas 0,17 e 0,45% dos valores obtidos por meio da aplicação do modelo desenvolvido nesta pesquisa.

Aplicação do modelo de previsão de geração de resíduo de construção e demolição em outros municípios de médio porte populacional

Por meio da consulta à literatura foram selecionados trabalhos realizados entre 2008 e 2020, contemplando seis diferentes cidades brasileiras, de quase todas as regiões do país, exceto a Centro-Oeste, que objetivaram quantificar a geração de RCDs em municípios de médio porte populacional.

Na Figura 1 é possível verificar o crescimento populacional dos municípios citados acima entre 2010 e 2020 por meio da variação do número de habitantes.

Tabela 4 - Previsão de geração de resíduo de construção e demolição a partir do modelo desenvolvido.

Ano	Área urbana (km ²)	PIB (R\$ × 1.000)	PIB <i>per capita</i> (R\$/hab)	RCD (t)
2020	28,86	5.917.932	44.498,02	39.940
2040	39,32	11.304.375	83.114,82	47.238

PIB: Produto Interno Bruto; RCD: resíduo de construção e demolição.

Já a Tabela 5 apresenta as pesquisas selecionadas e seus respectivos municípios que tiveram a quantificação de RCD realizada. Além destas informações, também foram incluídas na referida tabela a população utilizada pelos pesquisadores, e ainda, o comparativo entre o quantitativo total e a taxa de geração por habitante levantados pelos autores e o previsto pelo modelo desenvolvido nesta pesquisa.

As taxas de crescimento do número de habitantes dos municípios de médio porte populacional variaram entre 9,82 e 23,02% (média de 13,44% para as seis cidades nas quais as pesquisas foram realizadas) quando comparada a população de 2010 e 2020. Demonstrando, assim, se tratar de municípios com alta taxa de crescimento populacional, assim como Varginha (MG), que apresentou aumento de 10,57% dos habitantes no mesmo período.

Ainda sobre as taxas de crescimento populacional, constatou-se que todos os municípios, exceto Guarapuava (PR) (9,82%), apresentaram percentual superior ao de Varginha. Apenas as cidades de Criciúma (SC) (14,08%) e Ariquemes (RO) (23,02%) tiveram variações altas, com 33,25 e 117,74%, respectivamente, em relação ao município objeto desta pesquisa, quando comparadas as taxas de crescimento da população.

Uma possível causa para Ariquemes (RO) ter apresentado maior taxa de crescimento da população para o período entre os municípios, é a transição da cidade de pequeno (população inferior a 100.000 habitantes) para médio porte populacional. Além disto, houve expansão do número de postos de trabalho e criação de vagas na educação, como as abertas pela Universidade Federal de Rondônia no município (IBGE, 2020), promovendo um crescimento superior à média dos seis municípios listados.

Pode-se observar, por meio da Tabela 5, que todos os municípios possuíam população entre 100.000 e 500.000 habitantes, sendo, portanto, classificados como de médio porte populacional, no momento em que foram realizadas as pesquisas

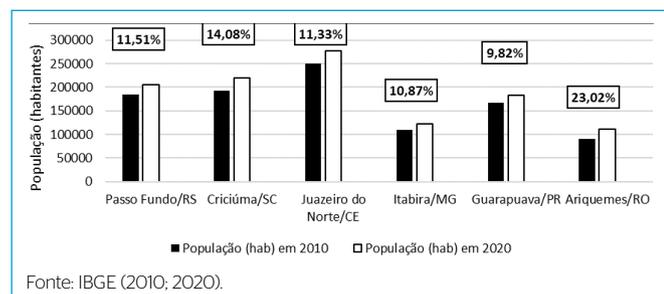


Figura 1 - Crescimento da população entre 2010 e 2020 dos municípios de médio porte populacional.

(coluna 1) para quantificar a geração de RCD. Comparando os valores quantificados pelos autores (RCD referência, coluna 4) com os obtidos por meio da aplicação do modelo (RCD modelo, coluna 5) observou-se uma variação (coluna 6) inferior a 13%. Os resultados indicaram que o quantitativo de RCD gerado foi maior quando aplicado o modelo de previsão de geração proposto nesta pesquisa do que os valores indicados pelos pesquisadores citados na referência, exceto na cidade de Criciúma (SC), na pesquisa desenvolvida por Cardoso (2011).

O município que apresentou a menor variação (1,7%) entre o quantitativo do RCD referência e a aplicação do modelo foi Itabira (MG). Já o maior percentual de variação (12,9%) foi encontrado no estudo realizado por Lopes (2020) em Ariquemes (RO), porém, acredita-se que dentro de uma margem aceitável, visto a dificuldade de prever a geração de RCD nos países em desenvolvimento, conforme relatado por Ram e Kalidindi (2017) e Zhang *et al.* (2019).

Uma vez que os métodos utilizados pelos pesquisadores foram diferentes, era esperado que os valores do RCD referência e RCD modelo fossem diferentes, conforme relatam John e Agopyan (2003). As possíveis causas destas variações no quantitativo de RCD gerado são descritas abaixo:

- Bernardes *et al.* (2008) — Passo Fundo (RS): os autores realizaram levantamento do quantitativo de RCD coletado por quatro empresas durante um período de três meses. Os caminhões que não estavam cheios não eram inseridos no cálculo. Além disto, não foi contabilizado o RCD de deposições irregulares.
- Cardoso (2011) — Criciúma (SC): foram utilizados dados de áreas licenciadas pelo município em um período de 10 anos para quantificar a geração de RCD. O autor citou que há construções que podem ter sido licenciadas e não construídas de fato. Este aspecto pode justificar o fato de o RCD modelo ser inferior em 12,4% em relação ao RCD referência.
- Silva e Marinho (2012) — Juazeiro do Norte (CE): os autores utilizaram informações de duas empresas sobre o RCD coletado para prever o total de resíduo gerado no município. Todavia, embora tenham identificado oito pontos de deposição irregular na cidade, estes não foram considerados.
- Rodrigues e Damasceno (2019) — Itabira (MG): com o objetivo de dimensionar uma usina de reciclagem de RCD, os autores estimaram o RCD gerado no município, incluindo a deposição irregular.
- Silva (2019) — Guarapuava (PR): o método utilizado foi similar ao desenvolvido por Cardoso (2011), ou seja, utilizando dados de áreas licenciadas do Departamento de Aprovação de Projetos (DEAPRO) da Prefeitura Municipal de Guarapuava. Também é válido destacar que não foi contabilizado o RCD de deposições irregulares.

Tabela 5 - Comparação do resíduo de construção e demolição gerado previsto nas pesquisas e no modelo desenvolvido.

Referência (1)	Cidade (2)	População (hab) no ano da pesquisa (3)	RCD referência (t/ano) (4)	RCD modelo (t/ano) (5)	Variação (%) (6)	Taxa referência (t/ano.hab) (7)	Taxa modelo (t/ano.hab) (8)	Variação (%) (9)
Bernardes <i>et al.</i> (2008)	Passo Fundo (RS)	185.279	37194	41613	-10,6%	0,20	0,22	-9,1%
Cardoso (2011)	Criciúma (SC)	192.200	53162	47.279	12,4%	0,28	0,25	12,0%
Silva e Marinho (2012)	Juazeiro do Norte (CE)	201.499	36.500	39.055	-6,5%	0,18	0,19	-5,3%
Rodrigues e Damasceno (2019)	Itabira (MG)	119.285	36.500	37.136	-1,7%	0,31	0,31	0,0%
Silva (2019)	Guarapuava (PR)	180.364	41.852	47.332	-11,6%	0,23	0,26	-11,5%
Lopes (2020)	Ariquemes (RO)	107.345	29.789	34.211	-12,9%	0,28	0,32	-12,5%

PIB: Produto Interno Bruto; RCD: resíduo de construção e demolição.

- Lopes (2020) — Ariquemes (RO): após a verificação da inexistência de um banco de dados específico sobre os resíduos no município, o autor prevê o quantitativo de RCD gerado. Foi utilizado método direto, com contabilização do número de caçambas retiradas de uma obra, em conjunto com métodos indiretos (RCD coletado por empresas). Por se tratar do município com maior crescimento populacional e de uma região ainda não urbanizada, possivelmente a geração de RCD extrapola o que foi quantificado no RCD referência, o que explica a variação de 12,9% em relação ao RCD modelo.

Outro aspecto verificado foi a taxa de geração dos municípios de médio porte populacional. Diferente do que foi visto pela aplicação do modelo em Varginha, há municípios com taxas de geração de RCD *per capita* com valores fora do intervalo que foi apresentado por Pinto (1999), como é o caso de Passo Fundo (RS) (0,20 t/hab.ano) e Juazeiro do Norte (CE) (0,18 t/hab.ano). As outras cidades estão dentro da margem, entre 0,23 e 0,76 t/hab.ano, sendo a maior delas de 0,31 t/hab.ano no município de Itabira (MG) (RODRIGUES; DAMASCENO, 2019).

CONCLUSÕES

Com o presente trabalho, é possível concluir que diante da ausência de dados confiáveis, o que é uma realidade da maior parte dos municípios brasileiros, é necessário desenvolver modelos de previsão que permitam quantificar a geração dos RCDs para proporcionar aos tomadores de decisão ferramentas adequadas para a gestão eficiente dos resíduos.

Desta forma, esta pesquisa desenvolveu um modelo de previsão de geração de RCD, utilizando como variáveis independentes a expansão urbana, PIB e PIB *per capita* do município de Varginha (MG). A aplicação do modelo possibilitou prever a geração de 39.940 e 47.238 t de RCD para os anos de 2020 e 2040, respectivamente. O modelo desenvolvido apresentou R^2 de 0,880, indicando 88% de variância da geração de RCD a partir das variáveis independentes em um modelo linear. Também foi possível verificar uma correlação positiva muito forte entre as variáveis independentes e a geração de RCD (variável dependente), dado que o modelo apresentou coeficiente de Person de 0,938.

Além disto, por meio da aplicação do modelo em outros municípios de médio porte populacional que tiveram pesquisas desenvolvidas relacionadas à geração de RCD, foi possível constatar a aplicabilidade do modelo, uma vez que a variação dos valores de geração de RCD obtidos pelos autores (RCD referência) e os calculados no modelo (RCD modelo) foram inferiores a 13%. Esta variação ocorre sobretudo em função dos diferentes métodos utilizados para a quantificação dos resíduos. O modelo de previsão desenvolvido se mostrou mais rigoroso ao obter quantitativo de RCD superior aos obtidos nas pesquisas consultadas como referência.

Tendo em vista a necessidade de ampliar os ainda escassos estudos sobre geração de RCD presentes na literatura, recomendam-se como pesquisas futuras:

- A aplicação do modelo em municípios que possuam dados confiáveis, sobretudo relacionados à geração de RCD, para a sua verificação;
- O emprego do modelo desenvolvido nesta pesquisa em municípios de portes populacionais diferentes, assim como em cidades de fora do Brasil;
- A utilização de outras variáveis independentes para o desenvolvimento de outros modelos que possam ser comparados com o desenvolvido neste estudo.

Por fim, espera-se que o modelo desenvolvido nesta pesquisa seja aplicado em outros municípios de médio porte populacional que não dispõem de informações e/ou recursos para prever o quantitativo de RCD. E, ainda, que os resultados obtidos nesta pesquisa contribuam para o desenvolvimento de estratégias de gestão de RCD eficientes, sendo uma ferramenta na busca da resolução dos problemas ambientais atuais e também que permita a adoção de ações proativas para a correta gestão do RCD em cenários futuros.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Santos, R.L.R.: Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição. Rodrigues, C.S.: Conceituação, Supervisão, Validação. Leiva, G.C.: Conceituação, Supervisão, Validação. Pereira, A.B: Validação, Visualização.

REFERÊNCIAS

AKANBI, L.; OYEDLE, A.O.; OYEDLE, L.O.; SALAMI, R.O. Deep learning model for Demolition Waste Prediction in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 274, p. 122843, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122843>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2019*. São Paulo: Abrelpe, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2019/>. Acesso em: 09 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil - 2020*. São Paulo: Abrelpe, 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 09 fev. 2023.

ANGULO, S.C.; TEIXEIRA, C.E.; CASTRO, A.L. de; NOGUEIRA, T.P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação.

Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 16, n. 3, p. 299-306, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000300013>

BAPTISTA, J.V.; ROMANEL, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 5, n. 2, p. 27-37, 2013. <https://doi.org/10.7213/urbe.05.002.se02>

BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P.D.M.; ABREU, A.G. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. *Ambiente Construído*, v. 8, n. 3, p. 65-76, 2008.

BOHNENBERGER, J.C.; PIMENTA, J.F.P.; ABREU, M.V.S.; COMINI, U.B.; CALIJURI, M.L.; MORAES, A.P. 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, p. 299-311, 2018. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100222>

- BOSCOV, M.E.G. *Geotecnia Ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248 p.
- CARDOSO, A.C.F. *Estimativa de geração de resíduos da construção civil nos municípios de Criciúma e Içara e estudo de viabilidade de usinas de triagem e reciclagem*. 2011. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.
- CHUNG, S. S. Projecting municipal solid waste: The case of Hong Kong SAR. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 54, n. 11, p. 759-768, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.11.012>
- COCHRAN, K.; TOWNSEND, T. Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach. *Waste Management*, v. 30, n. 11, p. 2247-2254, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.008>
- CÓRDOBA, R.E.; MARQUES, J. C.; SANTIAGO, C.D.; PUGLIESI, E.; SCHALCH, V. Alternative construction and demolition (C&D) waste characterization method proposal. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n. 1, p. 199-212, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019179720>
- DYSON, B.; CHANG, N. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, v. 25, n. 7, p. 669-679, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.10.005>
- ERLANDSSON, M.; LEVIN, P. Environmental assessment of rebuilding and possible performance improvements effect on a national scale. *Building and Environment*, v. 40, n. 11, p. 1459-1471, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.05.001>
- FERREIRA, B. A. *Resíduos Sólidos de Construção Civil: análise, desafios e perspectivas em Montes Claros/MG*. 2019. 98f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano/Regional e Demografia) - Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2019.
- GAO, Y.; GONG, Z.; YANG, N. Estimation methods of construction and demolition waste generation: a review. *Earth and Environmental Science*, v. 189, n. 5, p. 052050, 2018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/5/052050>
- GENG, S.; WANG, Y.; ZUO, J.; ZHOU, Z.; DU, H.; MAO, G. Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 76, p. 176-184, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.068>
- GRAZHDANI, D. Assessing the variables affecting on the rate of solid waste generation and recycling: An empirical analysis in Prespa Park. *Waste Management*, v. 48, p. 3-13, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.08.038>
- HUANG, L.; CAI, T.; ZHU, Y.; ZHU, Y. LSTM-Based Forecasting for Urban Construction Waste Generation. *Sustainability*, v. 12, n. 20, p. 8555, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12208555>
- HU, M.; VAN DER VOET, E.; HUPPES, G. Dynamic material flow analysis for strategic construction and demolition waste management in Beijing. *Journal of Industrial Ecology*, v. 14, n. 3, p. 440-456, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00247.x>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Indicadores sociais municipais*. 2000. Disponível em: https://www2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tabela1b.shtm. Acesso em: 27 out. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo demográfico*. 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27 out. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *População rural e urbana 2015*. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20da,brasileiros%20viverem%20em%20C3%A1reas%20rurais>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *População estimada de Varginha em 2020*. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/varginha/panorama>. Acesso em: 3 dez. 2020.
- JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. *O desafio da sustentabilidade na construção civil*. São Paulo: Blucher, 2003.
- KANNO, R.; WASKOW, R.; TUBINO, R. Quantificação de RCD em diversas etapas de vida de uma edificação: identificação e caracterização dos principais métodos. *Mix Sustentável*, v. 6, n. 1, p. 67-75, 2020. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.mix2020.v6.n1.67-75>
- KOLEKAR, K.; HAZRA, T.; CHAKRABARTY, S. A review on prediction of municipal solid waste generation models. *Procedia Environmental Sciences*, v. 35, p. 238-244, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.087>
- LEBERSORGER, S.; BEIGL, P. Municipal solid waste generation in municipalities: Quantifying impacts of household structure, commercial waste and domestic fuel. *Waste Management*, v. 31, n. 9-10, p. 1907-1915, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.016>
- LI, N.; HAN, R.; LU, X. Bibliometric analysis of research trends on solid waste reuse and recycling during 1992-2016. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 130, p. 109-117, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.008>
- LOPES, L.B. *Levantamento e análise da destinação dos resíduos da construção civil na cidade de Ariquemes-RO*. 2020. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2020.
- LU, W.; YUAN, H. A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Management*, v. 31, n. 6, p. 1252-1260, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018>
- LU, W.; WEBSTER, C.; PENG, Y.; CHEN, X.; ZHANG, X. Estimating and calibrating the amount of building-related construction and demolition waste in urban China. *International Journal of Construction Management*, v. 17, n. 1, p. 13-24, 2017. <https://doi.org/10.1080/15623599.2016.1166548>
- MAPA BIOMAS. *Plataforma MapBiomass*. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- MAUÉS, L.M.F.; NASCIMENTO, B.M.O.; LU, W.; XUE, F. Estimating construction waste generation in residential buildings: A fuzzy set theory approach in the Brazilian Amazon. *Journal of Cleaner Production*, v. 265, p. 121779, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121779>
- MENEGAKI, M.; DAMIGOS, D. A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 13, p. 8-15, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>
- NASCIMENTO, F.P. *Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática - como elaborar TCC*. Brasília: Thesaurus, 2016.

- NOORI, R.; ABDOLI, M.A.; FAROKHNI, A.; ABBASI, M. Results uncertainty of solid waste generation forecasting by hybrid of wavelet transform-ANFIS and wavelet transform-neural network. *Expert Systems with Applications*, v. 36, n. 6, p. 9991-9999, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.12.035>
- NUNES, K.; MAHLER, C. Comparison of construction and demolition waste management between Brazil, European Union and USA. *Waste Management & Research*, v. 38, n. 4, p. 415-422, 2020. <https://doi.org/10.1177/0734242x20902814>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *World Urbanization Prospects*. United Nations Department of Public Information. Disponível em: <<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>>. Acesso em: 21 maio 2020.
- PAN, X.; XIE, Q.; FENG, Y. Designing recycling networks for construction and demolition waste based on reserve logistics research field. *Journal of Cleaner Production*, p. 120841, 2020.
- PINTO, T.P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. 1999. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PIRES, A.; MARTINHO, G.; CHANG, N. Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 4, p. 1033-1050, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.024>
- PREFEITURA MUNICIPAL DE VARGINHA (PMV). *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. 2013. Disponível em: [http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs_e_arquivos_de_leis/article/10027/Dec6560\(AnexoPlanoMunicipalGIRS\).pdf](http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs_e_arquivos_de_leis/article/10027/Dec6560(AnexoPlanoMunicipalGIRS).pdf). Acesso em: 6 dez. 2020.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE VARGINHA (PMV). *Plano Diretor de Varginha*. 2017. Disponível em: <http://www.varginha.mg.gov.br/component/content/article/21438>. Acesso em: 6 dez. 2020.
- QIAO, L.; LIU, D.; YUAN, X.; WANG, Q.; MA, Q. Generation and prediction of construction and demolition waste using exponential smoothing method: a case study of Shandong province, China. *Sustainability*, v. 12, n. 12, p. 5094, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12125094>
- RAM, V.G.; KALIDINDI, S.N. Estimation of construction and demolition waste using waste generation rates in Chennai, India. *Waste Management & Research*, v. 35, n. 6, p. 610-617, 2017. <https://doi.org/10.1177/0734242x17693297>
- RITCHIE, H.; ROSER, M. *Urbanization*. Our world in data, 2019. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/urbanization>>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- RODRIGUES, T.C.; DAMASCENO, T.M. Análise de viabilidade da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil na cidade Itabira-MG. *Revista Científica Doctum Multidisciplinar*, v. 2, n. 3, 2019. <https://doi.org/10.5380/rber.v7i1.57975>
- SHI, J.; XU, Y. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 49, n. 2, p. 147-158, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.03.011>
- SILVA, F.R. *Diagnóstico da situação atual e subsídios para o gerenciamento dos resíduos da construção civil em Guarapuava-PR*. 2019. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2019.
- SILVA, J.D.; MARINHO, J.L. Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição: diretrizes para o crescimento sustentável da construção civil na região metropolitana do Cariri Cearense. *Revista E-Tech*, v. 5, n. 1, p. 102-119, 2012. <https://doi.org/10.18624/e-tech.v5i1.260>
- SMOL, M.; KULCZYCKA, J.; HENCLIK, A.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 95, p. 45-54, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.051>
- SOKKA, L.; ANTIKAINEN, R.; KAUPPI, P. Municipal solid waste production and composition in Finland - Changes in the period 1960-2002 and prospects until 2020. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 50, n. 4, p. 475-488, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.01.011>
- WANG, T.; WANG, J.; WU, P.; WANG, J.; HE, Q.; WANG, X. Estimating the environmental costs and benefits of demolition waste using life cycle assessment and willingness-to-pay: A case study in Shenzhen. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 14-26, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.168>
- WEI, Y.; XUE, Y.; YIN, J.; NI, W. Prediction of municipal solid waste generation in China by multiple linear regression method. *International Journal of Computers and Applications*, v. 35, n. 3, p. 136-140, 2013. <https://doi.org/10.2316/journal.202.2013.3.202-3898>
- WU, Z.; YU, A. T. W.; SHEN, L.; LIU, G. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. *Waste Management*, v. 34, n. 9, p. 1683-1692, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.010>
- YUAN, H. Critical management measures contributing to construction waste management: Evidence from construction projects in China. *Project Management Journal*, v. 44, n. 4, p. 101-112, 2013. <https://doi.org/10.1002/pmj.21349>
- YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, v. 31, n. 4, p. 670-679, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.10.030>
- ZHANG, N.; ZHENG, L.; DUAN, H.; YIN, F.; LI, J.; NIU, Y. Differences of methods to quantify construction and demolition waste for less-developed but fast-growing countries: China as a case study. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 26, n. 25, p. 25513-25525, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05841-4>
- ZHAO, W.; REN, H.; ROTTER, V.S. A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center-The case of Chongqing, China. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 11, p. 933-944, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.04.011>