

## Influence of constructive profiles on the generation of construction waste in construction in the Northeast

Influência de perfis construtivos na geração de resíduos da construção civil em obras do Nordeste

Rodrigo Gabriel Avelino de Queiroz Pessoa<sup>I</sup>, Daniel Bruno Pinto da Silva<sup>II</sup>,  
Cleyton Roberto Bezerra dos Santos<sup>III</sup>, Kalinny Patrícia Vaz Lafayette<sup>IV</sup>, Michele  
Joyce Pereira dos Santos<sup>V</sup>, Diogo Henrique Fernandes da Paz<sup>VI</sup>

### ABSTRACT

O setor da construção civil é um dos principais modificadores do meio ambiente, uma vez que nas suas atividades há, essencialmente, a exploração de recursos naturais, gerando grande quantidade de resíduos. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a influência de parâmetros gerenciais (prazo, regime de contratação e custos) e construtivos (padrão da obra, tipo de fundação e tipo de alvenaria de vedação), na geração de resíduos da construção civil (RCC). A metodologia consistiu nas seguintes etapas: definição dos parâmetros a serem analisados quanto à geração de resíduos em 15 obras; coleta e tratamento dos dados e, por fim, análise da dispersão dos dados por meio do boxplot. Verificou-se a predominância de resíduos classe A, 89,20% do total gerado; entre os resíduos classe B, o gesso possui maior destaque, com 54,74% dos resíduos gerados; na classe C os materiais mistos são predominantes, com 63,42%. Quanto aos parâmetros analisados, os que mais contribuíram com a geração resíduos da construção civil (RCC) foram: padrão de obra alto (48,17%); regime de contratação por incorporação (58,19%); prazo de execução intermediário entre 36 e 45 meses (49,38%); fundação do tipo sapata (35,95%); alvenarias de vedação com blocos cerâmicos nas periferias e blocos de gesso internamente (57,91%).

**Palavras-chave:** Resíduos da construção civil; Indicadores de sustentabilidade; Gestão de obras

### RESUMO

The construction sector is one of the main modifiers of the environment, since in its activities there is, essentially, the exploitation of natural resources, generating a large amount of waste. The objective of this research was to evaluate the influence of management parameters (term, contracting and costs) and constructive parameters (building standard, type of foundation and type of masonry) in the generation of construction waste. The methodology consisted of the following steps: definition of the parameters to be analyzed for the generation of waste in 15 works; data collection and processing and, finally, data dispersion analysis through the boxplot. There was a predominance of class A waste, 89.20% of the total generated; among class B waste, gypsum is more prominent, with 54.74% of the waste generated; in class C the mixed materials are predominant, with 63.42%. Regarding the analyzed parameters, the ones that contributed the most to the generation of construction waste (RCC) were:

<sup>I</sup> Universidade de Pernambuco, PE, Brasil - rodrigo.gaqp@gmail.com

<sup>II</sup> Universidade de Pernambuco, PE, Brasil - dbps@poli.br

<sup>III</sup> Universidade de Pernambuco, PE, Brasil - crbs@poli.br

<sup>IV</sup> Universidade de Pernambuco, PE, Brasil - klafayette@poli.br

<sup>V</sup> Universidade de Pernambuco, PE, Brasil - mjps2@poli.br

<sup>VI</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, PE, Brasil - diogo.henriquepaz@gmail.com



high work pattern (48.17%); incorporation hiring regime (58.19%); intermediate execution time between 36 and 45 months (49.38%); foundation of the shoe type (35.95%); sealing masonry with ceramic blocks in the peripheries and gypsum blocks internally (57.91%).

**Keywords:** Construction waste; Sustainability indicators; Management of Works

## 1 INTRODUCTION

A indústria da construção é um setor importante e dinâmico da economia mundial. É responsável pela geração de emprego, pela modernização das infraestruturas e pelo aumento dos padrões de vida. Além disso, está diretamente interligado a várias outras áreas da economia (MACEDO et al., 2018). Por se tratar do setor responsável pelo maior número de empregados no Brasil, a construção civil tem grande importância socioeconômica, sendo considerado um dos setores que apontam a situação financeira de um país, tanto em momentos de crescimento exponencial, quanto em momentos de recessão econômica (SILVA; BICALHO; OLIVEIRA, 2018; Bezerra et al., 2016). Segundo Girardi (2016), o Brasil produz resíduos da construção civil em quantidade equivalente à dos países desenvolvidos, porém, a destinação adequada não segue o ritmo do volume gerado, existindo uma maior disposição em ambientes sem controle e/ou tratamento.

Esse contexto causado pela geração desenfreada de resíduos da construção civil (RCC) conduz a inúmeras perturbações para a saúde humana e para o meio ambiente, causando preocupação nos centros urbano (ESA et al., 2017), principalmente nos países em desenvolvimento (CHANAKYA et al., 2017).

Como, por exemplo, o elevado desperdício de materiais no canteiro de obras, que não são despejados em áreas adequadas, e a falta de práticas de reutilização e reciclagem pela administração pública. Além disso, causam efeitos adversos sobre o meio ambiente (poluição da água, do solo e do ar, bem como impactos negativos sobre a fauna e a flora), nas questões sociais, bem como na saúde pública (aspecto estético, perigos para a saúde, reprodução de pragas e roedores, trabalho e segurança humana), economia (consumo de combustível através do transporte e desperdício de matérias-primas e recursos primários) (SILVA; SANTOS; ARAÚJO, 2017; ASGARI et al., 2017).

Em 2015, os municípios brasileiros coletaram cerca de 45 milhões de resíduos da construção civil, representando um crescimento de 1,2% em comparação ao ano de 2014 (ABRELPE, 2016). Em 2016, coletou-se 45,1 milhões de toneladas, representando uma diminuição de 0,08%, quando comparado ao ano anterior. Ainda em 2016, foi possível observar que a região Nordeste teve um acréscimo de 0,32% da coleta diária em toneladas dos resíduos construção civil quando comparado a 2015 (ABRELPE, 2017).

Este conhecimento, da quantidade de RCC gerados e qual a destinação adequada a ser dada a esse material nos municípios, ainda é incipiente e necessita de adoção de tecnologias e utilização de métodos de construção precisa (LU et al., 2011), principalmente para adoção de uma gestão integrada (KERN et al., 2015; CAETANO et al., 2018).

De acordo com Kern et al. (2015), a quantificação da geração de RCD pode contribuir para o controle dos resíduos e fornecer um referencial para programas de redução do desperdício de materiais. Esta necessidade de informações de geração de RCD, também é evidente em diversos países, para que seja possível o desenvolvimento de um sistema de gestão eficiente, (LLATAS, 2011; MAH et al., 2016; LU et al., 2017; RAM; KALIDINDI, 2017).

Desta maneira, obter soluções que diminuam os impactos ambientais das atividades relacionadas ao setor da construção civil, apresenta-se como de grande importância para o progresso de um desenvolvimento sustentável mais abrangente, principalmente, quando se relaciona os aspectos ambientais com a utilização racional de recursos e com o descarte de resíduos. Porém, a disposição final desses resíduos acaba encontrando alguns empecilhos, devido aos custos com transporte e à dificuldade em encontrar locais que estejam de acordo com as exigências ambientais (GONÇALVES, 2016). Outro fator importante é que muitos profissionais continuam a priorizar a eliminação dos resíduos, ao invés de buscar o reaproveitamento dos materiais (SHEN et al., 2010), utilizando técnicas ambientalmente corretas e economicamente viáveis (AJAYI et al., 2017).

Sendo assim, esta pesquisa teve o objetivo de analisar a geração de resíduos de construção civil (RCC) em 15 (quinze) obras de uma mesma construtora, localizadas em três estados da região Nordeste. A geração desses resíduos foi avaliada por meio dos prazos de execução das obras, padrões construtivos (econômico, médio, alto e hotel/flats), regimes de contratação (condomínio e incorporação), tipos de fundação (superficial, estaca metálica, hélice contínua, estaca de argamassa, melhoramento de solo) e segundo o tipo de alvenaria de vedação (bloco cerâmico e bloco de gesso), verificando se os mesmos influenciam na geração total, na geração média e nos índices de geração de resíduos da construção civil.

## **2 IMPACTOS AMBIENTAIS DEVIDO AOS RCC**

A extração e o beneficiamento de matérias-primas, em conjunto com disposição final irregular dos resíduos, ocasionam grandes impactos ao meio ambiente (CAMPOS, 2012). O desenvolvimento econômico e geração de empregos são dependentes do setor da construção civil, entretanto, o mesmo é responsável por colaborar negativamente com a grande utilização dos recursos naturais e pela geração de resíduos sólidos (KERN et al., 2015).

Estima-se que 41% a 70% da massa total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil provêm do setor da construção civil (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Segundo Kohlman Rabbani et al. (2013), serão necessárias mudanças nos modelos de trabalho em vigor no setor da construção civil, a fim de que a mesma venha a se tornar de fato sustentável.

A triagem dos materiais de acordo com sua classe, antes de ser depositado em aterros sanitários é muitas vezes apresentada como uma etapa imprescindível (SANTOS; MARCHESINI, 2018), pois em muitos casos os RCD são gerenciados como uma mistura de materiais de construção inertes e não inertes (LU e YUAN, 2012).

Para Ajayi et al. (2017), a segregação efetiva dos resíduos, através da provisão de coletores de resíduos para materiais específicos, é essencial para mitigar o total de resíduos descartados de um local de construção.

As práticas e métodos processuais da indústria da construção civil ainda são atrasados e ineficazes, para assegurar a utilização mais racional dos materiais nos canteiros de obras. Ikau et al. (2016) citam que a falta de conhecimento ou experiência em resíduos da construção, aquisição de materiais fora das especificações, e seu armazenamento inadequado (que leva a danos e retrabalho), estão entre os principais fatores identificados que contribuem para a geração de resíduos em obras.

A reutilização de RCC tem benefícios, não só pela diminuição dos resíduos produzidos, que normalmente são depositados em aterros, como também pela preservação dos recursos naturais, reduzindo os impactos associados à sua extração (MEDEIROS-JÚNIOR; BALESTRA; LIMA, 2016).

Boa parte dos profissionais da construção civil não tem conhecimento da quantidade de RCC que é gerada pelas atividades inerentes ao setor, conquanto entendem a poluição ambiental causada pelas atividades e não têm orientação sobre os processos necessários para destinar adequadamente os RCC, os quais podem ser reciclados ou reutilizados na própria obra (MEDINA et al., 2015).

Devido à carência de novas tecnologia e por ter uma característica mais artesanal do que industrial, a construção civil apresenta níveis de perda altos. A fim de traçar metas que venham a combater tal fato, primeiramente, deve-se estar atento para a utilização correta dos materiais no canteiro de obras, visando a redução dos desperdícios, e, por conseguinte, auxiliar na diminuição da exploração dos recursos naturais (SILVA et al., 2015).

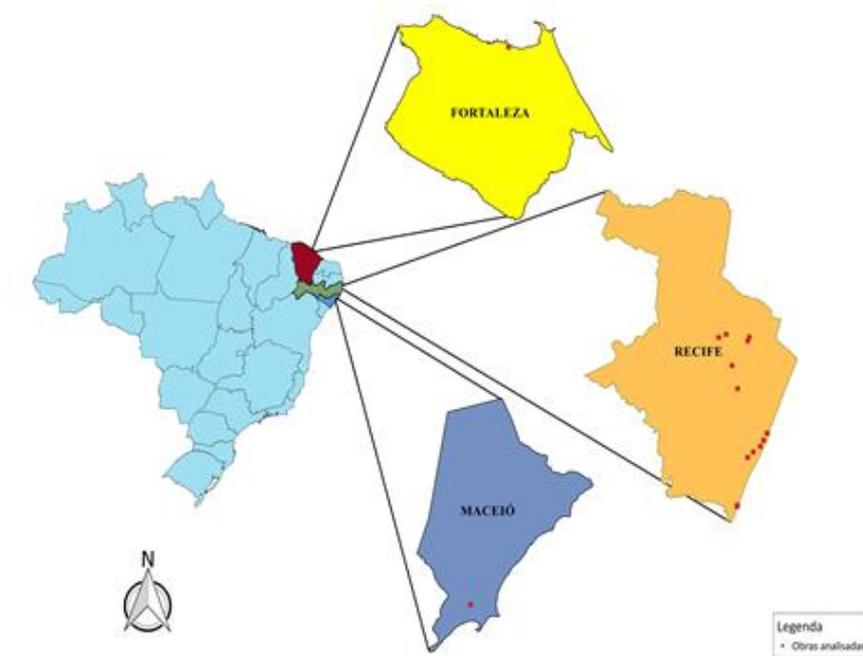
### **3 METODOLOGIA**

A quantidade de obras estudadas foi definida de acordo com a disponibilidade da construtora em fornecer os dados de RCC. A construtora é de grande porte e

possui um sistema de gestão integrada com os certificados internacionais de qualidade, saúde e segurança e meio ambiente – ISO 9001:2008, OHSAS 18001 e ISO 14001. A escolha dos empreendimentos foi limitada pelo tipo de edificação, que deveria ser vertical, e pelo registro de geração de resíduos, que deveria estar completo do início ao fim da obra.

As obras analisadas pertencem aos municípios de Recife (Pernambuco), Fortaleza (Ceará) e Maceió (Alagoas), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Localização das obras analisadas



Source: authors

Foram coletados dados de 15 obras, 13 sendo no município do Recife, 1 no município de Fortaleza e 1 em Maceió, com a geração de RCC no período de março de 2009 a fevereiro de 2018. O banco de dados de RCC continha informações de geração de resíduos de Classes A, B, C e D, de acordo com a classificação da Resolução CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002). Os resíduos Classe A são depositados em caçambas estacionárias, enquanto os resíduos Classe B, C e D são dispostos em baias, conforme Figura 2.

Figura 2 - Segregação de resíduos Classe A (a), Classe B, C e D (b)



(a)



(b)

Source: authors

Algumas das empresas de destinação de resíduos, antes do mês de dezembro de 2014, não possuíam balanças rodoviárias para calcular o peso das caçambas estacionárias.

Nesses casos os relatórios foram emitidos em volume, e foi utilizado a massa específica do entulho de  $1,36 \text{ t/m}^3$  (SANTOS, 2015) para calcular os resíduos em massa.

As empresas responsáveis pela destinação final e transporte dos resíduos, possuíam uma licença de operação emitida pelos órgãos responsáveis pela gestão municipal de resíduos sólidos. Essas empresas são responsáveis por fiscalizar as fontes poluidoras e fornecer proteção e conservação dos recursos naturais.

Para caracterizar as obras e verificar as possíveis influências dos parâmetros analisados nos indicadores de RCC, foi elaborada a Tabela 1.

Tabela 1 - Características das obras analisadas

Obra	Estado	Pavimentos Tipo	Número de Torres	Unidades	Prazo de conclusão (meses)	Área construída (m <sup>2</sup> )
------	--------	--------------------	------------------------	----------	----------------------------------	-----------------------------------------

1	Obra	PE	27	1	81	40	9.478,17
2	Obra	PE	34	1	70	46	19.370,00
3	Obra	PE	36	1	72	45	12.630,00
4	Obra	CE	63	3	351	37	47.574,00
5	Obra	PE	32	1	206	32	15.220,00
6	Obra	PE	20	1	20	43	6.226,00
7	Obra	PE	40	1	80	51	19.789,60
8	Obra	PE	28	1	66	43	14.062,00
9	Obra	PE	29	1	58	23	10.072,00
10	Obra	PE	22	1	88	28	7.706,00
11	Obra	PE	19	1	16	28	3.739,00
12	Obra	PE	16	1	32	36	7.099,00
13	Obra	AL	20	1	120	28	17.213,00
14	Obra	PE	50	2	100	46	16.477,00
15	Obra	PE	30	1	60	46	10.495,25

Source: authors

Na Tabela 2, estão apresentados os padrões construtivos das obras analisadas, assim como, a tipologia da edificação, o regime de contratação e o ano de entrega para a análise das possíveis influências nos índices de geração de resíduo.

Tabela 2 - Perfil das obras analisadas

Obra	Padrão Construtivo	Tipologia	Regime de Contratação	Ano de entrega
1	Médio	T + V1 + V2 + 27TP + C	Incorporação	2017
2	Alto	SE + T + V1 + 34TP + C	Condomínio	2014
3	Alto	SE + T + V + 36TP	Condomínio	2014

4	Obra	Hotel/ Flats	SE+ T + V1 + V2 + 21TP	Incorporação	2013
5	Obra	Hotel/ Flats	SE + T + V1 + V2 + V3 + V4 + 32TP	Incorporação	2012
6	Obra	Alto	T + V1 + V2 + 20TP	Condomínio	2013
7	Obra	Alto	T + V + 40TP + C	Condomínio	2018
8	Obra	Alto	T + V1 + V2 + 28TP	Condomínio	2013
9	Obra	Alto	SE + T + V + 29TP	Incorporação	2013
10	Obra	Médio	SE + T + MZ + 22TP	Incorporação	2012
11	Obra	Alto	SE + T + V + 19TP + L	Incorporação	2012
12	Obra	Alto	SE + T + V + 16TP + C	Condomínio	2014
13	Obra	Econômico	SE + V + 20TP	Incorporação	2012
14	Obra	Alto	T + V1 + V2 + 25TP + C	Condomínio	2018
15	Obra	Alto	T + V + 30TP	Condomínio	2017

Notas: SE: Semienterrado; T: Térreo; V: Vazado; MZ: Mezanino; TP: Pavimento Tipo; C: Cobertura; L: Lazer.

Source: authors

A diferença entre os regimes de contratação por incorporação e condomínio é que o primeiro é financiado por agências financeiras e o segundo é custeado por um grupo de investidores que contratam a construtora para gerenciar e responder pela construção. Em ambos os casos, o efetivo administrativo das obras, responsável pelas inspeções de qualidade é o mesmo.

Em obras com regime de execução por incorporação as instituições financeiras visam lucrar com as vendas das unidades habitacionais, fazendo com que o prazo de entrega seja o mais curto possível. Desta forma, há dificuldades para gerenciar as atividades e conseqüentemente o controle de resíduos, devido à execução de diversas atividades simultaneamente.

No regime de execução em condomínio, o prazo de entrega do empreendimento é consideravelmente maior, pois o grupo de investidores só recebe o edifício, após o pagamento completo do custo de construção. Isso possibilita a maior facilidade em gerenciar e controlar as atividades por parte da administração da obra, possibilitando a redução na quantidade de atividades simultâneas.

O padrão construtivo das edificações é definido a partir de uma classificação interna da construtora, através da avaliação dos seus projetos. Alguns critérios, como: localização, área de lazer, material utilizado, preço de venda, entre outros, foram utilizados para categorizar o padrão construtivo da edificação.

Para verificar se existem influências dos subsistemas utilizados na geração de RCC em cada obra, foram coletadas informações sobre o tipo de fundação e o tipo de vedação interna de cada empreendimento para avaliação (Tabela 3). Também foram obtidos os custos de construção de cada edifício com valores atualizados para o mês de março de 2018, pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC).

Tabela 3 - Tipos de fundação, fechamento interno e custo das obras

<b>Obra</b>	<b>Tipo de fundação</b>	<b>Tipo de fechamento interno</b>	<b>Custo da obra (R\$)</b>
1	Hélice contínua	Bloco de gesso	23.858.385,11
2	Estaca metálica	Tijolo	38.260.719,16
3	Hélice contínua	Tijolo	29.462.664,73
4	Sapatas (superficial)	Bloco de gesso	78.324.320,21
5	Hélice contínua	Bloco de gesso	27.588.158,33
6	Melhoramento de solo	Bloco de gesso	13.610.139,40
7	Estaca metálica	Tijolo	59.555.506,92
8	Hélice contínua	Bloco de gesso	26.427.370,13
9	Estaca de argamassa	Tijolo	18.886.055,70
10	Estaca de argamassa	Tijolo	14.514.342,28
	Hélice contínua	Tijolo	11.816.593,

11				49
Obra	Sapatas (superficial)	Tijolo	20.404.912,	
12			34	
Obra	Hélice contínua	Bloco de gesso	24.270.025,	
13			99	
Obra	Estaca metálica	Tijolo	51.123.681,	
14			35	
Obra	Estaca metálica	Tijolo	31.256.712,	
15			21	

Source: authors

Por fim, foi realizada a análise estatística dos dados por meio da avaliação da dispersão com a determinação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a avaliação da variabilidade por meio do gráfico de caixas ou boxplot.

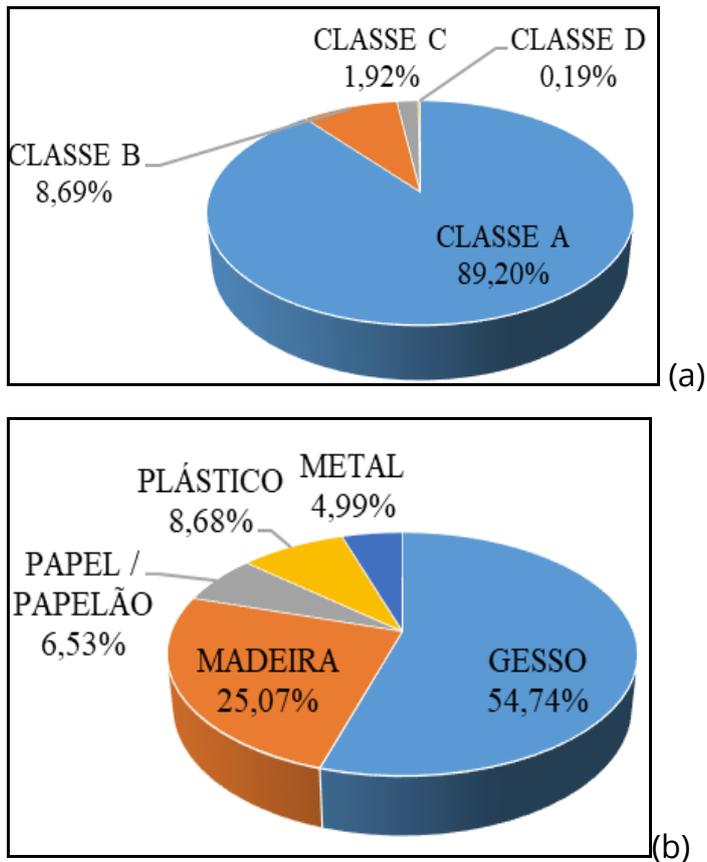
#### 4 RESULTADOS

A Figura 3a apresenta a composição dos RCC nas obras analisadas de acordo com as classes da Resolução nº 307/2002 do CONAMA (BRASIL, 2002). Observa-se que os resíduos Classe A são predominantes entre as obras analisadas, com 89,20% do total gerado, próximo ao valor obtido por Vieira (2018), de 85,67%.

Os resíduos Classe A podem ser reutilizáveis ou recicláveis como agregados e, desta forma, possuem elevado potencial de reaproveitamento. Os resíduos de classe B, C e D correspondem a 8,69%, 1,92% e 0,19%, respectivamente.

Os resíduos da Classe B são os materiais recicláveis para outras destinações. Nas obras analisadas o gesso possui maior destaque, com 54,74% dos resíduos gerados, seguido da madeira, plástico, papel/papelão e metal que correspondem a 25,07%, 8,68%, 6,53% e 4,99%, respectivamente (Figura 3b).

Figura 3 - Composição dos RCC conforme a Resolução n° 307/2002 do CONAMA (a) e Composição gravimétrica dos resíduos Classe B (b)



Source: authors

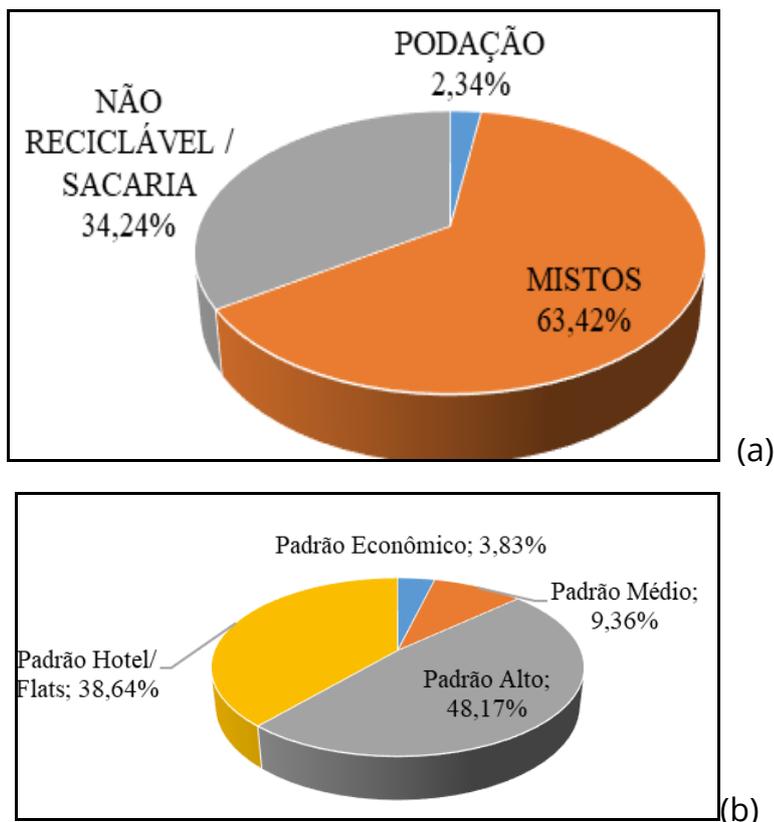
Os resíduos Classe C (Figura 4a) são aqueles considerados mistos (gesso com bloco e concreto com madeira), a podaço de árvores e sacos de papel KRAFT que não foram enviados para a reciclagem (embalagem de cimentos, argamassas e gesso). Observa-se na Figura 5 que os materiais mistos são predominantes, com 63,42% dos resíduos gerados, seguidos dos resíduos não recicláveis/sacarias e podaço, com 34,24% e 2,34%, respectivamente.

Para os resíduos desta classe, ainda não foram desenvolvidas tecnologias que possibilitem a sua reciclagem/reutilização.

Os resíduos da Classe D são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como produtos químicos (latas de tinta e latas de epóxi) e equipamentos de proteção individual (EPI), correspondendo a 0,19% dos resíduos gerados. Este valor está muito próximo ao encontrado por Vieira (2018), onde os resíduos da Classe D corresponderam a 0,13% do total gerado.

A partir da análise das 15 obras, obteve-se a caracterização da geração de RCC de acordo com o padrão da edificação. Observa-se na Figura 4b que os padrões construtivos das obras influenciaram na geração de RCC. As obras com o padrão Alto são as maiores geradoras de RCC, com 48,17%, seguidas do padrão Hotel/Flats, Médio e Econômico, que correspondem a 38,64%, 9,36% e 3,83%, respectivamente.

Figura 4 - Composição gravimétrica dos resíduos Classe C (a) e Composição da geração de RCC por padrão de obra (b)



Source: authors

O número de obras analisadas e a geração média de RCC varia de acordo com o padrão construtivo. A Tabela 4 apresenta o número de obras analisadas, a geração média e o índice de geração de RCC por padrão da edificação.

Tabela 4 - Geração média e índices de RCC por padrão de obra

Padrão	Nº de obras analisadas	Geração média (t)	Índice (kg/m <sup>2</sup> )
Econômico	1	1017,00 ± 0,00	59,08 ± 0,00

Médio	2	1242,55 ± 569,29	141,29 ± 45,65
Alto	10	1278,99 ± 660,97	127,51 ± 82,39
Hotel / Flats	2	5129,50 ± 4.480,94	151,63 ± 32,23

Source: authors

A geração total de RCC foi de 26.550,96 t e a produção total média foi de 1.770,06 t ± 1.898,15 t, onde foram encontrados valores entre 484 t e 8.298 t. Verificase que o aumento do padrão construtivo das obras influencia para uma maior geração média de RCC. As obras com o padrão "Hotel/Flats" geraram a maior quantidade média de RCC, 5.129,50 t. Já a obra com o padrão "Econômico" obteve o menor valor de geração de RCC.

Para a avaliação da geração de RCC é comum a utilização de índices que relacionam a produção de resíduos à área construída das obras. No Recife, a Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB), definiu, por meio das diretrizes para a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), a utilização dos índices para a fase de construção, demolição e escavação em 75 kg/m<sup>2</sup>, 800 kg/m<sup>2</sup> e 1.400 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente (EMLURB, 2006).

O índice médio de geração de RCC obtido foi de 128,00 kg/m<sup>2</sup> ± 70,93 kg/m<sup>2</sup>. Observa-se na Tabela 4 que o padrão Econômico foi o único que atendeu ao índice recomendado pela EMLURB, com 59,08 kg/m<sup>2</sup>. As obras de padrão "Hotel/Flats" obtiveram o maior índice médio, com 151,63 kg/m<sup>2</sup>, seguidos do padrão "Médio" e "Alto" com 141,29 kg/m<sup>2</sup> e 127,51 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Ao analisar os índices de geração de RCC em cada obra, verificou-se que as edificações de padrão Alto possuem índices variando entre 36,36 kg/m<sup>2</sup> e 322,28 kg/m<sup>2</sup> e somente três obras atenderam à recomendação da EMLURB. Desta forma, a utilização de um único índice para representar as obras pode ser incoerente. Paz et al. (2018), recomendaram que sejam utilizadas faixas de área construída para a determinação de índices de geração de RCC mais adequados.

A Tabela 5 apresenta os valores de geração média e os índices de RCC de acordo com o regime de contratação da obra e a Figura 7 apresenta a geração total de resíduos.

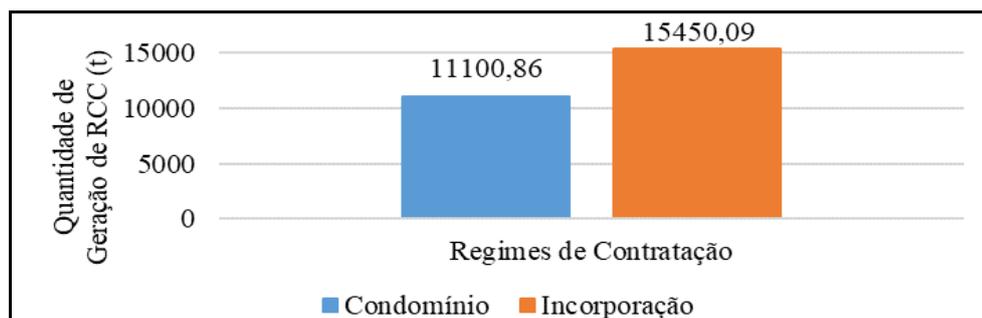
Tabela 5 - Geração média e índices de RCC por regime de contratação

Regime	Nº de obras analisadas	Geração média (t)	Índice (kg/m <sup>2</sup> )
Condomínio	8	1387,61 ± 676,13	113,10 ± 46,56
Incorporação	7	2207,16 ± 2.730,51	145,04 ± 92,60

Source: authors

Ao analisar a geração de RCC das obras (Figura 5), verifica-se que o regime de contratação por incorporação produz a maior quantidade de resíduos, com 58,19% do total gerado. Entre as obras deste regime, os valores variaram entre 484 t e 8.298 t. Em relação ao índice médio de geração de resíduos, as obras executadas por Incorporação possuem o maior valor médio (145,04 kg/m<sup>2</sup>) e variou entre 48,05 kg/m<sup>2</sup> e 322,28 kg/m<sup>2</sup>.

Figura 5 - Geração total de RCC de acordo com Regime de Contratação



Source: authors

Considerando o prazo de execução das obras, a Tabela 6 apresenta o número de obras analisadas, a geração média e os índices de RCC. A Figura 6 apresenta a geração total de resíduos de acordo com o prazo de execução.

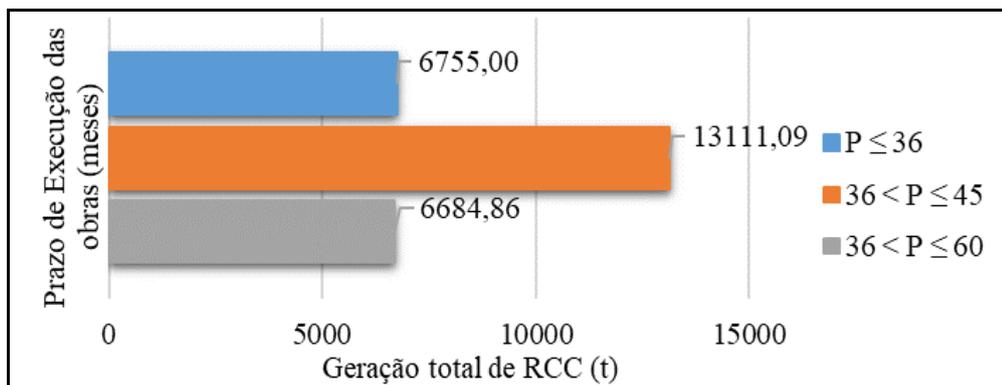
Tabela 6 - Geração média e índices de RCC por prazo de execução das obras

Prazo (meses)	Nº de obras	Geração média (t)	Índice (kg/m <sup>2</sup> )
---------------	-------------	-------------------	-----------------------------

	3	6	1125,83 ± 494,81	140,51 ± 100,59
3	4	5	2622,22 ± 3.199,04	131,70 ± 49,42
6	5	4	1671,22 ± 841,02	104,62 ± 47,87
5	0			

Source: authors

Figura 6 - Geração total de RCC de acordo com o prazo de execução das obras



Source: authors

Verifica-se que as obras com prazo intermediário (entre 36 e 45 meses) possuem a maior geração total e média de RCC, com 13.111,09 t e 2.622,22 t, respectivamente. As obras executadas nos demais prazos apresentaram valores médios de geração de RCC, praticamente, constantes (Tabela 6).

Em relação ao índice de geração de resíduo, quanto maior o prazo de execução da obra menor é o valor do índice. Assim, as obras com menor prazo apresentam o maior índice geração de resíduo, com 140,51 kg/m<sup>2</sup>. Em relação ao total de resíduo produzido, verificou-se que as e as obras com maior prazo (entre 36 e 60 meses) são as que menos produzem resíduo, com 6.684,86 t (Figura 6).

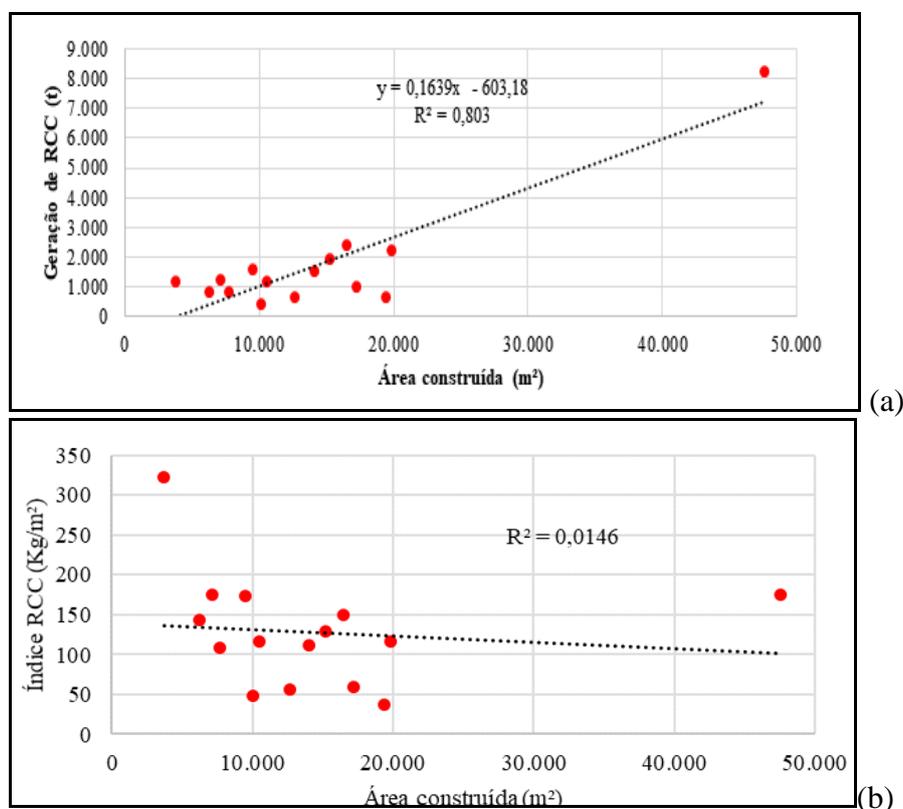
A geração média de resíduos de acordo o regime de contratação e o prazo de execução apresenta grande dispersão. Isso indica a necessidade de considerar o porte da obra para que sejam obtidos índices de geração de resíduo mais adequados.

Para as obras analisadas, encontrou-se uma relação entre a área construída e a geração de resíduos do empreendimento. Essa relação foi determinada pelo Coeficiente de Determinação (R<sup>2</sup>) encontrado no gráfico de dispersão entre área construída e resíduo gerado (Figura 7a). O R<sup>2</sup> encontrado foi de 0,803, isto significa

que 80,30% dos valores encontrados de resíduos podem ser explicados pelo parâmetro da área de construção.

Com relação aos índices de geração de RCC, verificou-se que esses valores não sofreram influências expressivas com relação a variação da área das obras. Contudo, constatou-se uma tendência de diminuição do índice de geração à medida que a área construída cresce (Figura 7b).

Figura 7 - Dispersão entre área construída x resíduo gerado (a) e Dispersão entre área construída x índice de RCC (b)

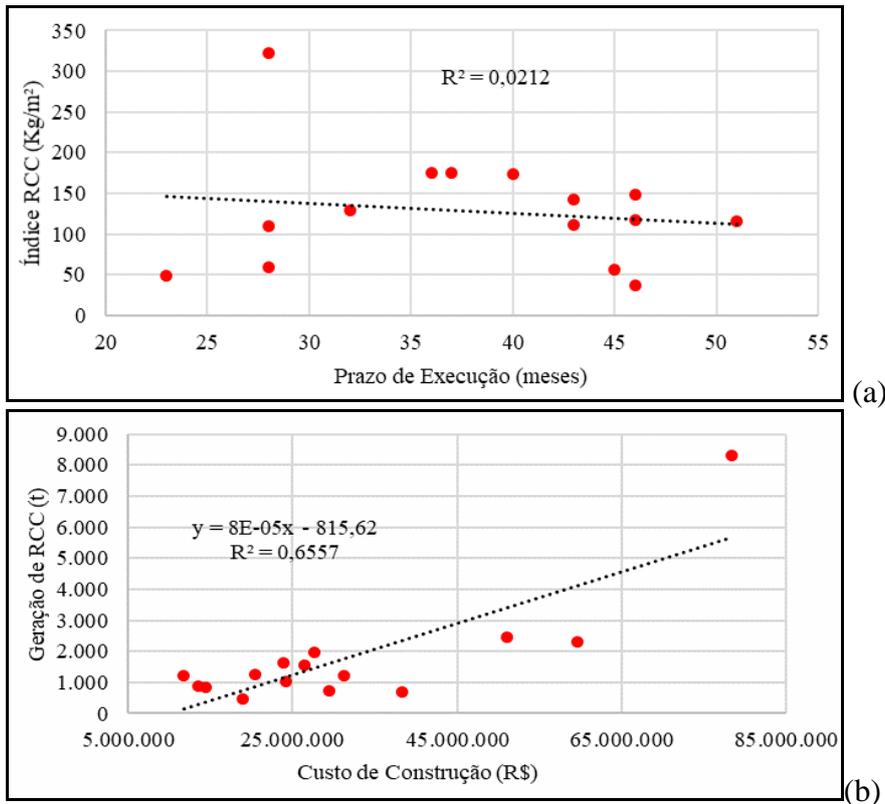


Source: authors

Ao analisar a dispersão entre o prazo das obras e os índices de geração calculados, não foi verificado uma forte relação entre esses dois parâmetros, devido ao baixo Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ). Contudo, percebeu-se uma leve tendência de diminuição no índice de RCC à medida que o prazo da obra aumenta (Figura 8a).

Ao verificar a influência dos custos de previsto para construção com a geração de RCC, observou-se uma relação moderada entre os dois parâmetros a partir do Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ) de 65,57% (Figura 8b).

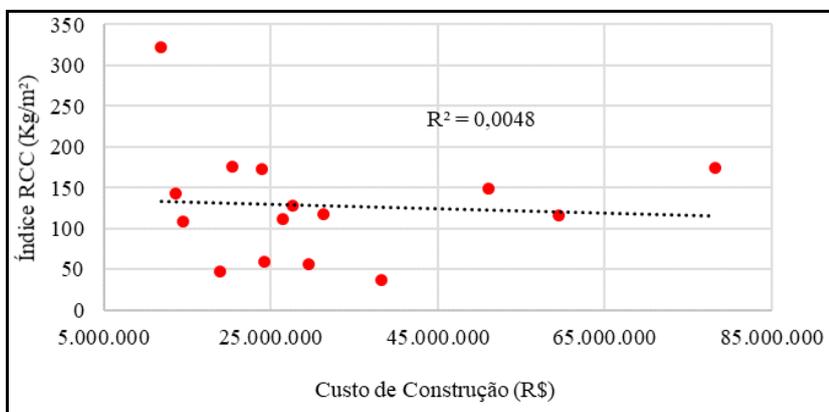
Figura 8 - Dispersão entre prazo de execução x índice de RCC (a) e Dispersão entre custo de construção x geração de RCC



Source: authors

No que diz respeito à relação dos indicadores de RCC e custo de construção, não foi verificado uma influência significativa entre esses dois parâmetros. Contudo, percebeu-se uma leve tendência de decréscimo no indicador de RCC (Kg/m²) à medida em que o custo com a construção aumenta (Figura 9).

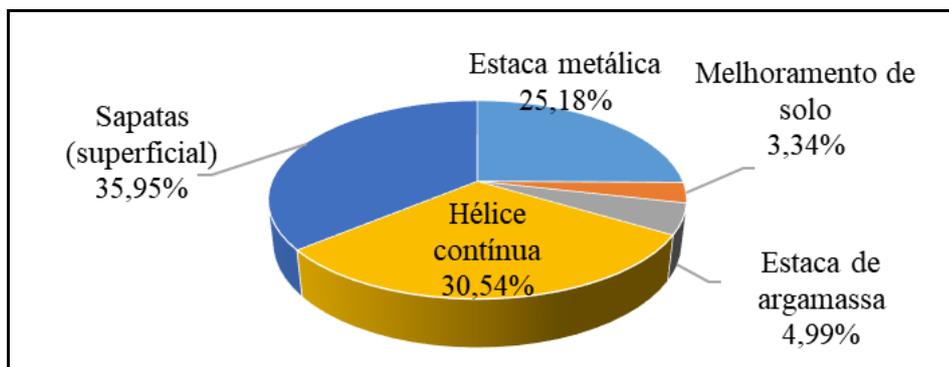
Figura 9 - Dispersão entre custo de construção x Índice de RCC



Source: authors

Verificou-se que a fundação das edificações influenciou na geração de RCC, conforme observado na Figura 10. As obras executadas com sapatas (fundação superficial) são as maiores geradoras de resíduos, com 35,95% do total gerado, seguido da hélice contínua (30,54%) e da estaca metálica (25,18%). Já as edificações executadas por meio de estaca de argamassa e de melhoramento solo foram as que menos geraram RCC, com 4,99% e 3,34%, respectivamente.

Figura 10 - Geração de RCC de acordo com o tipo de fundação



Source: authors

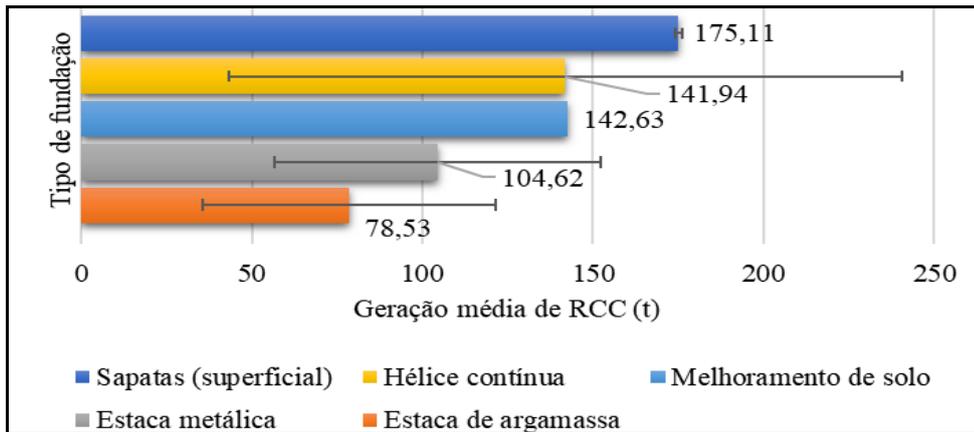
Em relação aos valores médios e aos índices de geração de RCC, verifica-se na Tabela 7 que o tipo de fundação influenciou estes valores. Tem-se que as obras executadas com sapatas possuem o maior valor médio, com 4.773,00 t, e o maior índice médio de geração de RCC, de 175,11 kg/m<sup>2</sup> (Figura 11). Observa-se que a obra executada em hélice contínua alcançou o maior índice de RCC, com 322,28 kg/m<sup>2</sup>. O menor índice obtido foi pela obra executada em estaca metálica.

Tabela 7 - Geração média e índices de RCC por tipo de fundação das obras

Tipo de fundação	Nº de obras analisadas	Geração média (t)	Índice (kg/m <sup>2</sup> )
Estaca metálica	4	1.671,22 ± 841,02	104,62 ± 47,87
Melhoramento de solo	1	888,00	142,63
Estaca de argamassa	2	662,00 ± 251,73	78,53 ± 43,10
Hélice contínua	6	1.351,35 ± 457,20	141,94 ± 98,79
Sapatas (superficial)	2	4.773,00 ± 4.985,10	175,11 ± 0,97

Source: authors

Figura 11 - Índice médio de geração de RCC de acordo com o tipo de fundação



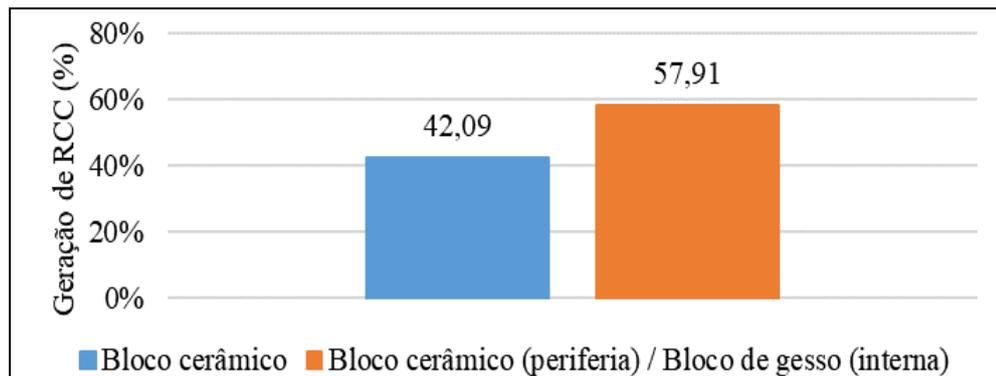
Source: authors

Nas obras analisadas, foram utilizados dois tipos de alvenarias de fechamento: alvenaria externa e interna em bloco cerâmico; e alvenaria externa em bloco cerâmico e interna em bloco de gesso. Verifica-se que as obras executadas com os blocos de gesso geram a maior quantidade de resíduos, com 57,91% do total gerado, Figura 12. Em relação à geração média de RCC, as obras executadas utilizando os blocos de gesso possuem maior valor, com uma geração média de 2.562,68 t, como pode ser observado na Tabela 8.

Em relação ao índice de geração de resíduos, as obras executadas utilizando os blocos de gesso possuem o maior valor médio, com 131,66 kg/m<sup>2</sup>, cerca de 4,85% maior que as obras com apenas alvenaria em bloco cerâmico (Tabela 8). Observa-se que a utilização de blocos de gesso na vedação interna das edificações proporcionou a maior geração de RCC na geração total, geração média e no índice de geração.

De acordo com Godinho-Castro (2012), depois dos materiais argilosos, os resíduos de gesso são os mais abundantes do setor da construção civil. Já em obras executadas com gesso acartonado (drywall), a literatura indica que há a redução de 15,94% na geração de resíduos, em relação à alvenaria de tijolos cerâmicos (SÁEZ et al., 2014). Verificou-se que a utilização de alvenarias de gesso aumentou a geração de RCC em 37,58%, em relação à alvenaria cerâmica.

Figura 12 - Geração de RCC de acordo com o tipo de alvenaria de vedação



Source: authors

Tabela 8 - Geração média e índices de RCC por tipo de alvenaria das obras

Tipo de alvenaria de fechamento	Nº de obras analisadas	Geração média (t)	Índice (kg/m <sup>2</sup> )
Bloco Cerâmico	9	1.241,65 ± 696,09	125,56 ± 87,26
Bloco cerâmico (periferia) / Bloco de gesso (interna)	6	2.562,68 ± 2.838,41	131,66 ± 43,33

Source: authors

Na Tabela 8, os valores médios e os índices de geração de RCC possuem altos valores de dispersão em torno da média, indicando a alta variabilidade dos dados. Para a análise do comportamento da geração de RCC, foi utilizado o gráfico de caixas ou boxplot, que é uma representação gráfica da distribuição dos dados. Na Figura 13a, observa-se o boxplot da geração total de RCC, em toneladas, de acordo com o tipo de alvenaria.

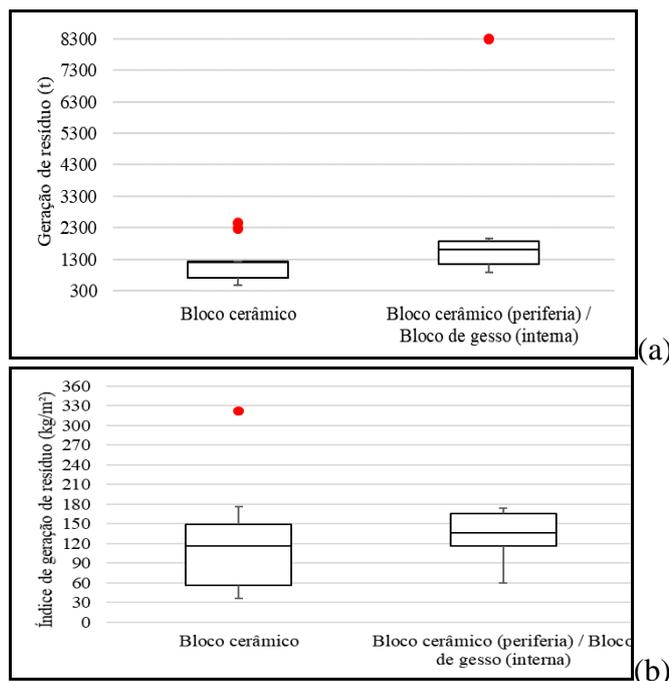
Neste gráfico, o comportamento adequado dá-se quando os dados estão entre os limites superior e inferior do boxplot. No entanto, nota-se a presença de pontos discrepantes (em vermelho) ou outliers, que são pontos atípicos das observações (Figura 13a). Ou seja, entre as obras executadas somente com alvenaria cerâmica, duas delas apresentaram geração de resíduo (t) de forma atípica e entre as obras executadas com bloco de gesso, uma apresentou valor atípico.

A presença de pontos atípicos indica que as obras foram influenciadas por fatores que fogem ao padrão de geração de RCC, e são inexistentes nas demais obras. A presença destes pontos discrepantes são os responsáveis pela alta dispersão em

torno da média de geração de RCC, principalmente, nas obras que utilizaram os blocos de gesso. Verificou-se que o ponto discrepante, entre as obras que utilizaram o bloco de gesso (Figura 13a), possui a maior geração de RCC, com 8.298 t e a maior área construída, com 47.574 m<sup>2</sup>.

Em relação ao índice de geração de resíduos, observa-se na Figura 13b que embora as obras executadas apenas com alvenaria em bloco cerâmico possuam menor índice médio de geração de RCC, elas apresentam maior dispersão dos dados. Pode-se observar a presença de um ponto discrepante (vermelho) nestas obras, indicando a fuga da normalidade dos dados.

Figura 13 - Boxplot da geração total de RCC por tipo de alvenaria de vedação (a) e Boxplot do índice de geração de RCC por tipo de alvenaria de vedação (b)



Source: authors

O ponto com valor destoante é pertencente a Obra 11, uma edificação de padrão alto e com o maior custo por metro quadrado construído (R\$ 3.160,36/m<sup>2</sup>). Essa edificação fica localizada em bairro de padrão alto do Recife e o principal diferencial dessa construção é a personalização das unidades privativas. A maioria dos proprietários elaboraram os projetos arquitetônicos de suas unidades e entregaram à construtora para executar os serviços de acordo com as solicitações.

A prática da personalização das unidades privativas da Obra 11 impossibilitou a construtora de elaborar um projeto padrão de racionalização de alvenaria dos pavimentos. Além disso, inviabilizou a implantação de uma central de trincho para reduzir as perdas com o serviço de alvenaria e dificultou a otimização na geração de RCC devido à falta de padronização dos pavimentos. Estes fatores influenciaram a geração de 1.205 t de RCC que, aliados à pequena área construída do empreendimento (3.739 m<sup>2</sup>), proporcionaram a obtenção de um índice de geração de RCC muito elevado em relação às outras obras (322,28 kg/m<sup>2</sup>) e o comportamento do índice de geração como um ponto discrepante.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através da análise das obras indicam que os parâmetros analisados influenciam na geração de RCC. Verificou-se que o aumento do padrão das obras causa o aumento de resíduos, onde o padrão “Alto” gera cerca de 48,17% do total produzido, seguido do padrão “Hotel/Flats”, “Médio” e “Econômico”. Em relação ao índice de geração de resíduos, notou-se que as obras de padrão alto possuem grande variedade, indicando que a utilização de um único valor médio é inadequada para estas obras.

A análise do regime de contratação aponta que as obras executadas por condomínio são as menores geradoras de RCC (41,81%) e estão relacionadas com os prazos de execução que são maiores. Tem-se que quanto menor o prazo de execução das obras maior foi o índice de RCC (kg/m<sup>2</sup>), pois há a redução no prazo de execução que é exigida nos contratos financiados por incorporação. As obras de maior prazo produziram foram as que produziram menos resíduos. Desta forma, o prazo é determinante para o gerenciamento e produção de resíduos nos canteiros de obras.

Esse estudo aponta que a geração de RCC também é influenciada pelo tipo de fundação. As obras que utilizaram as fundações superficiais produziram a maior quantidade de resíduos, 35,95% do total gerado. Já o melhoramento de solo indicou pouco efeito (3,34%). Em relação ao índice de geração de RCC, as obras que

executadas em sapatas superficiais atingiram o maior valor. No entanto, umas das obras em hélice contínua se destacou com índice de 322,28 kg/m<sup>2</sup>.

A análise da influência do tipo de alvenaria apontou que a utilização de blocos de gesso na vedação interna proporcionou o aumento na geração total de resíduo em 37,58%. O índice de geração médio de resíduos nestas obras também foi maior, em relação às obras executadas com alvenaria em bloco cerâmico.

A análise da dispersão dos dados para os tipos de alvenarias apontou que existem obras que se destacam na geração de resíduos, se caracterizando como pontos discrepantes. Por meio do boxplot (ou gráfico de caixa), foram identificadas essas obras com geração de resíduos atípicas. Através de investigação do ponto discrepante, verificou-se que a obra com a maior área é também a maior geradora de RCC. Já na obra executada em bloco cerâmico e com índice de geração discrepante, constatou-se, por meio de investigação, que vários fatores gerenciais e construtivos influenciaram na maior quantidade de resíduos gerado que, aliado à pequena área do empreendimento, obteve um índice de geração incomum.

Através desta pesquisa é possível observar que, além das técnicas construtivas, os fatores gerenciais também influenciam na geração de resíduos da construção civil. O entendimento destes intervenientes torna-se essencial para o planejamento e execução de ações que melhorem a eficiência dos processos e reduzam o desperdício de material.

O estudo também aponta que a análise dos dados pode ser essencial na identificação de obras onde a geração de RCC fugiu ao padrão esperado. O entendimento das características que mais influenciam na geração de resíduos permitirá a tomada de decisões que minimizem os impactos no meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE [Internet]. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015 [2016]**. Available

from: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE [Internet]. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016 [2017]**. Available from: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>.

AJAYI SO, OYEDELE LO, BILAL M, AKINADE OO, ALAKA HÁ, OWOLABI HA. **Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects**. Waste Management. 2017;59:330-339.

ASGARI A, GHORBANIAN T, YOUSEFI N, DADASHZADEH D, KHALILI F, BAGHERI A et al. **Quality and quantity of construction and demolition waste in Tehran**. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2017;15(1):1-8.

BEZERRA RPL, SILVA RCP, ACIOLI NTB, DOS ANJOS RC. **Avaliação do desperdício de materiais em obras de edificações**. In: Anais do Encontro pernambucano de resíduos sólidos [CD-ROM]; 2016; Recife, Brasil.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil (Brasília). 2010 Ago 03.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 307, de 05 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil (Brasília). 2002 Jul 05.

BRASILEIRO LL, MATOS JME. **Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil**. Cerâmica. 2015;61(358):178-189.

CAETANO MO, FAGUNDES AB, GOMES LP. **Modelo de regressão linear para estimativa de geração de RCD em obras de alvenaria estrutural**. Ambiente Construído. 2018;18(2):309-324.

CAMPOS FHA. **Análise do ciclo de vida na construção civil: um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto [dissertação]**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG, 2012. 123 f.

CHANAKYA HN, SHWETMALA K, RAMACHANDRA TV. **Nature and extent of unauthorized waste dump sites in and around Bangalore city**. Journal of Material Cycles and Waste Management. 2017;19:342-250.

EMPRESA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA - EMLURB [Internet]. **Diretrizes para elaboração do plano de gerenciamento de resíduos da construção civil [2006]**.

Available from: <http://www2.recife.pe.gov.br/sites/default/files/diretrizes-pgrcc.pdf>.

ESA MR, HALOGA A, RIGAMONTI L. **Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia.** Resources, Conservation and Recycling. 2017;120:219-229.

GIRARDI ACC. **Avaliação da substituição total de areia natural por RCD em revestimentos de argamassa [dissertação].** Goiânia: Universidade Federal de Goiás/UFG, 2016. 130 f.

GODINHO-CASTRO AP, TESTOLIN RC, JANKE L, CÔRREA AXR, RADETSKI CM. **Incorporation of gypsum waste in ceramic block production: Proposal for a minimal battery of tests to evaluate technical and environmental viability of this recycling process.** Waste Management. 2012;32(1):153-157.

GONÇALVES DB. **A gestão de resíduos da construção civil no município de Sorocaba-SP.** Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil. 2016;11(2):15-26.

IKAU R, JOSEPH C, TAWIE R. **Factors influencing waste generation in the construction industry in Malaysia.** In: Anais do International conference on quality of life; 2016; Medan, Indonésia.

KERN AP, DIAS MF, KULAKOWSKI MP, GOMES LP. **Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression.** Waste Management. 2015;39:35-44.

LLATAS C. **A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list.** Waste Management. 2011;31(6):1261-1276.

LU W, YUAN H, LI J, HAO J, MI X, DING Z. **An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China.** Waste Management. 2011;31(4):680-687.

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. 2017;17:13-24.

LU W, YUAN H. **Off-site sorting of construction waste: What can we learn from Hong Kong?.** Resources, Conservation and Recycling. 2012;69:100-108.

MACEDO KRM, CESTARI SP, MENDES LC, ALBITRES GAV, RODRIGUES DC. **Sustainable hybrid composites of recycled polypropylene and construction debris.** Journal of Composite Materials. 2018;52(21):2949-2959.

MAH CM, FUJIWARA T, HO CS. **Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia.** Waste Management & Research. 2016;34(12):1224-1230.

MEDEIROS-JÚNIOR RA, BALESTRA CET, LIMA MG. **Applicability of recycled aggregates in concrete piles for soft soil improvement.** Waste Management & Research. 2016;35(1):56-64.

MEDINA C, ZHU W, HOWIND T, FRÍAS M, ROJAS MIS. **Effect of the constituents (asphalt, clay materials, floating particles and fines) of construction and demolition waste on the properties of recycled concretes.** Construction and Building Materials. 2015;79:22-33.

PAZ DHF, VIEIRA CR, LAFAYETTE KPV, SOBRAL MCMS. **Diagnóstico da geração de resíduos da construção civil de obras da cidade do Recife – PE.** In Silva RCP, Santos JPO, Mello DP, El-Deir SG, editores. Resíduos sólidos: Impactos Socioeconômicos e Ambientais; 2018; Recife, Brasil. p 579.

RAM VG, KALIDINDI SN. **Estimation of construction and demolition waste using waste generation rates in Chennai, India.** Waste Management & Research. 2017;35(6):610-617.

SÁEZ PV, MERINO RM, PORRAS-AMORES C, GONZÁLEZ ASA. **Assessing the accumulation of construction waste generation during residential building construction works.** Resources, Conservation and Recycling. 2014;93:67-74.

SANTOS DS. **Diagnóstico da gestão dos resíduos de construção e demolição e seus impactos ambientais no município de Jaboatão dos Guararapes-PE [dissertação].** Recife: Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco/ POLI UPE, 2015. 163 f.

SANTOS MHS, MARCHESINI MMP. **Logística reversa para a destinação ambientalmente sustentável dos resíduos de construção e demolição (RCD).** Revista Metropolitana de Sustentabilidade. 2018;8(2):67-85.

SHEN LY, TAM VW, TAM L, JI YB. **Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice.** Journal of Cleaner Production. 2010;18:254-259.

SILVA GA, NANNI G, CARNIATTO I, JUNIOR EJH, LIMA JR. **Reduzindo perdas oriundas do armazenamento e no manuseio de materiais na construção civil.** Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais. 2015;6(1):23-39.

SILVA GD, BICALHO SF, OLIVEIRA MSC. **Reaproveitamento de resíduos da construção civil em um empreendimento na região sudoeste da Bahia.** In: In Silva RCP, Santos JPO, Mello DP, El-Deir SG, editores. Resíduos Sólidos: Tecnologias e Boas Práticas de Economia Circular; 2017; Recife, Brasil. p. 440-453.

SILVA WC, SANTOS GO, ARAUJO WEL. **Resíduos sólidos da construção civil: caracterização, alternativas de reuso e retorno econômico.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. 2017;6(2):286-301.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO CEARÁ - SINDUSCON/CE. **Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil [2011].** Available from: <http://www.ibere.org.br/anexos/325/2664/manual-de-gestao-de-residuos-solidos---ce-pdf>.

VIEIRA CR. **Análise da geração dos resíduos da construção civil, consumos de água e energia nos canteiros de obra da cidade do Recife [dissertação].** Recife: Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco/ POLI UPE, 2018. 164 p.