

Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa

Rate of construction waste generation in buildings in the city of João Pessoa

Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa
Gilson Barbosa Athayde Júnior
Mariana Moreira de Oliveira

Resumo

O objetivo deste trabalho foi determinar a quantidade de resíduos da construção civil (RCC) em função da área construída da edificação, para efetuar acompanhamento e fiscalização mais eficazes da geração e destinação final em dada obra. Foi escolhida uma amostra representativa das edificações em fase de construção na cidade de João Pessoa. Uma ficha para coleta das características e acompanhamento de volume de RCC descartado ao longo do cronograma de execução da construção foi fornecida aos gestores das edificações; a partir do volume descartado pelas construtoras, determinou-se a massa de RCC gerado em cada obra utilizando uma massa unitária de 1.025 kg m^{-3} . Os resultados indicaram uma taxa média de geração de RCC classe A de $86,27 \text{ kg m}^{-2}$. Ainda para os RCC classe A, foram definidos os limites inferior e superior com 90% de confiança para a taxa de geração: 62,31 e $136,02 \text{ kg m}^{-2}$ respectivamente. A partir desses valores, o controle da geração e disposição de RCC pode ser realizado pelos órgãos competentes, dando o indicativo de quais obras podem estar infringindo a legislação vigente no tocante à destinação de tais resíduos.

Palavras-chave: Resíduos da construção. Quantificação. Gestão de resíduos.

Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa
Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB - Brasil

Gilson Barbosa Athayde Júnior
Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB - Brasil

Mariana Moreira de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB - Brasil

Recebido em 26/03/12
Aceito em 28/12/13

Abstract

The aim of this study is to determine the amount of construction waste (CW) based on the built area of buildings, in order to implement more effective monitoring and inspection of the generation and destination of the waste. A representative sample was chosen from buildings under construction in João Pessoa. A form to collect data on the characteristics and CW volume generation of the buildings was distributed. From the volume of CW discharged by the building companies, the weight was calculated based on a unit mass of 1025 kg m^{-3} . The results showed a generation rate of class A (CONAMA Resolution 307) CW of 86.27 kg m^{-2} . Also, for class A CW, a 90% confidence interval was calculated, with lower and upper limits of 62.31 and 136.02 kg m^{-2} , respectively. Based on these results, the control of the generation and disposal of CW can be done by local authorities, indicating which sites are not following existing laws on the disposal of waste.

Keywords: Construction waste. Quantification. Waste management.

Introdução

A indústria da construção civil vem apresentando altos índices de crescimento no Brasil e trazendo consigo benefícios socioeconômicos, com participação de forma ativa na geração de emprego e renda. Por outro lado, as atividades relacionadas ao setor resultam numa elevada geração de resíduos, os chamados resíduos da construção civil (RCC), que, se dispostos de maneira inadequada, causam impactos ao meio ambiente, como a poluição do solo, assoreamento de córregos, enchentes, proliferação de vetores de doenças e obstrução de vias de tráfego, entre outros. Devido à frequente falta de informação acerca dos volumes de RCC gerados em determinada obra, faz-se necessário um estudo para o conhecimento da taxa de geração desses resíduos com base na área construída da edificação. Essa taxa poderá servir de parâmetro para o controle e fiscalização dos geradores, visando ao cumprimento das leis e normas vigentes. Este trabalho tem como objetivo estudar a possibilidade de se exprimir a quantidade de RCC em função da área construída da edificação.

RCC: definição, composição e caracterização

Entre os resíduos gerados no ambiente urbano estão os chamados RCC, que, de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha. Ainda de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), os RCC são classificados em quatro classes distintas:

(a) Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados tais como (1) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; (2) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações (componentes cerâmicos, argamassa e concreto); e (3) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos e meio fio, entre outros), produzidas nos canteiros de obras;

(b) Classe B (nova redação dada pela Resolução CONAMA nº 431 (BRASIL, 2011)): são os

resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso (BRASIL, 2011);

(c) Classe C (nova redação dada pela Resolução CONAMA nº 431 (BRASIL, 2011)): são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação (BRASIL, 2011); e

(d) Classe D (nova redação dada pela Resolução CONAMA nº 348 (BRASIL, 2004)): são os resíduos perigosos, oriundos do processo da construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (BRASIL, 2004).

As terminologias Resíduos da Construção Civil (RCC) e Resíduos de Construção e Demolição (RCD) têm sido utilizadas no meio acadêmico para denominar os resíduos sólidos gerados nas atividades de construção e demolição. Neste trabalho será utilizado o termo Resíduos da Construção Civil, alinhando-se àquele utilizado na Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) e já utilizado na literatura (MANFRINATO; ESGUÍCERO; MARTIS, 2008; EVANGELISTA; COSTA; ZANTA, 2010).

A composição e a quantidade dos RCC estão estritamente ligadas às diversas características de sua fonte geradora (construções, reformas, demolições), ao momento de coleta da amostra relativo ao cronograma de execução, bem como à qualidade da mão de obra, técnicas construtivas empregadas e adoção de programas de qualidade (CARNEIRO, 2005; ZORDAN, 1997). Os RCC gerados no Brasil são compostos predominantemente de materiais inorgânicos não metálicos (em torno de 90% em massa), consistindo essencialmente de concreto e argamassa, rochas naturais e material cerâmico (ÂNGULO, 2000; ÂNGULO; JOHN, 2006). Com relação ao percentual de RCC classe A, alguns estudos reportam valores na faixa de 88% a 96% (BRITO FILHO, 1999; COSTA; ALMEIDA, 1999; CARNEIRO *et al.*, 2001; CARNEIRO, 2005; MARQUES NETO; SCHALCH, 2006; MANFRINATO; ESGUÍCERO; MARTIS, 2008), sendo 93% a média desses valores.

Uma importante característica dos RCC para estudos quantitativos é sua massa unitária, parâmetro este definido como a razão entre sua

massa e o correspondente volume ocupado, incluindo os vazios. Souza (2005) determinou a massa unitária de RCC no estado bruto gerados na construção de conjuntos habitacionais populares, chegando ao valor de 1.288 kg m^{-3} . Carneiro *et al.* (2000) chegaram ao valor de 1.156 kg m^{-3} na cidade de Salvador, enquanto Ângulo *et al.* (2011) fazem referência ao valor de 1.000 kg m^{-3} . Observa-se que os valores da massa unitária obtidos pelos autores situam-se numa estreita faixa.

Taxas de geração de RCC

A geração de RCC durante a fase de construção é decorrência das perdas nos processos construtivos (FORMOSO *et al.*, 1998), sendo projetos mal elaborados a principal causa da geração (LLATAS, 2011). Quantitativamente, a geração de RCC é diferente entre várias localidades, devido a diversos fatores, como número de habitantes, leis e regulamentações específicas, processos construtivos, incluindo as peculiaridades de cada construtora (OLIVEIRA *et al.*, 2011), e ainda o momento da construção civil. Assim, essas características interferem diretamente no tipo e na quantidade de resíduo gerado.

A taxa de geração de RCC pode ser definida como a razão entre sua quantidade gerada, geralmente em unidade de volume ou de massa, e outro parâmetro, geralmente o tempo e/ou a população correspondente, ou ainda a área construída.

Vários estudos foram realizados visando obter a taxa de geração de RCC em diversas localidades, tendo sido reportados valores variando de 39% a 70% em relação à massa de resíduos sólidos urbanos, $1,2 \times 10^6$ a $300 \times 10^6 \text{ t ano}^{-1}$ ou $0,136$ a $3,658 \text{ t hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em alguns países, e ainda $0,20$ a $0,76 \text{ t hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em algumas cidades brasileiras (PINTO, 1999; JOHN, 2000; ATHAYDE JÚNIOR *et al.*, 2004; CARNEIRO, 2005; BERNARDES *et al.*, 2008; MANFRINATO; ESGUÍCERO; MARTIS, 2008; VIOLIN, 2009). As taxas supracitadas são de utilização limitada para estimativas futuras de geração de RCC, uma vez que o ritmo da construção civil é extremamente atrelado ao momento econômico e por isso retrata a geração de RCC apenas naquele período correspondente ao estudo.

Por outro lado, taxas reportadas em unidades de massa por unidade de área construída as desvinculam do momento econômico de dada época, além de serem independentes do quantitativo populacional. A seguir, apresentam-se alguns estudos nos quais as taxas de geração de RCC foram expressas em kg m^{-2} .

Pinto (1999) considerou uma massa de 1.200 kg m^{-2} para edificações finalizadas, executadas predominantemente por processos convencionais, e uma perda média de materiais nos processos construtivos de 25% em relação à massa de materiais levados ao canteiro de obra, com um percentual de perdas de materiais removido como RCC de 50%, chegando, assim, à taxa de 150 kg m^{-2} de área construída. Monteiro *et al.* (2001) mencionam valores variando de 100 a 300 kg m^{-2} , porém não indicam os procedimentos metodológicos ou considerações seguidas na obtenção deles.

Carneiro (2005) chegou ao intervalo entre $69,28$ e $86,41 \text{ kg m}^{-2}$ para a taxa de geração de RCC analisando dados referentes a três canteiros de obra. Para efeito dessa estimativa foram admitidas duas hipóteses para a massa estimada das edificações:

(a) a primeira levando-se em consideração o somatório das cargas de todos os pilares de uma obra, dividindo-se este valor pela área total construída correspondente e, por fim, subtraindo deste a parcela de carga referente à sobrecarga (150 kg m^{-2}), já que esta ainda não existe na etapa de construção, obtendo-se assim um índice de $1.060,29 \text{ kg m}^{-2}$; e

(b) a adoção de um valor médio da massa estimada por engenheiros calculistas atuantes na região do estudo, para edificações aporticadas de concreto, de aproximadamente 850 kg m^{-2} (não sendo considerada a parcela da sobrecarga).

Assim, tendo ainda o autor considerado um índice médio de perdas de materiais na forma de RCC de 8,15% e fazendo o cruzamento de dados entre a massa estimada para a edificação e as perdas, Carneiro (2005) chegou aos valores de $86,41$ e $69,28 \text{ kg m}^{-2}$, baseando-se também, da mesma forma que Pinto (1999), em diversas considerações.

Andrade *et al.* (2001) fizeram uma estimativa de RCC por unidade de serviço objetivando o cálculo da massa desses resíduos por unidade de área, utilizando-se de indicadores que relacionam a quantidade de serviço executado à área de piso de edificação; finalmente, multiplicando-se os valores de RCC por metro quadrado de piso pela massa de RCC por unidade de material, chegaram ao valor de $49,58 \text{ kg m}^{-2}$.

Careli (2008) fez a separação do RCC por tipo de resíduos e assumiu uma estimativa de densidade média por tipo de resíduo considerando a forma como os diferentes tipos de resíduos são acondicionados e coletados, resultando nos valores

para massa de resíduos de 104,49 kg m⁻² e 115,82 kg m⁻² para duas obras que foram analisadas.

Solís-Guzman *et al.* (2009), aplicando o modelo de quantificação utilizando coeficientes estimados de geração de RCC por etapa dos serviços a serem executados, para construção de prédios de quatro andares, com 1.600 m² de área, chegaram a uma taxa de 307,6 kg m⁻² considerando o movimento de terra, e de 107,6 kg m⁻² sem o movimento de terra. Todos os coeficientes foram estimados a partir de dados provenientes da *Andalusia Construction Costs Database*.

Souza (2005) quantificou os RCC gerados em 50 unidades habitacionais, de 44,52 m² cada, obtendo o valor de 89,68 kg m⁻² de RCC gerado através da informação sobre os volumes e uma massa unitária de 1.288 kg m⁻³.

Marques Neto e Schalch (2010) chegaram à taxa de geração quantificando os RCC de cinco obras, sendo uma delas de reforma. Os mesmos autores consideraram uma massa unitária de 600 kg m⁻³, chegando à taxa de 137,02 kg m⁻². Neste estudo observa-se um valor atípico para a massa unitária, bastante inferior aos valores citados por Carneiro *et al.* (2000), Souza (2005) e Ângulo *et al.* (2011).

Dos estudos acima referidos, apenas Souza (2005) e Marques Neto e Schalch (2010) chegaram à taxa de geração de RCC por unidade de área utilizando um método de medição direta, sendo os demais baseados em estimativas e considerações. Nestes estudos, a área construída a partir da qual os dados foram obtidos foi de 2.226 e 1.795,3 m² para os estudos de Souza (2005) e Marques Neto e Schalch (2010) respectivamente.

Metodologia

A pesquisa foi realizada na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, e consistiu no levantamento do volume de RCC descartado em canteiros de obra, com determinação da massa unitária de uma amostra deles e anotação da área construída constante nos projetos correspondentes. Inicialmente, visitaram-se 75 canteiros de obras, dos quais 53 se propuseram a contribuir com informações acerca dos volumes descartados de RCC e das respectivas áreas construídas. Dos 53, apenas 35 possuíam cronograma de execução compatível para ser desenvolvido no período de abril de 2010 a março de 2012. Nessas 35 obras foram incluídas algumas que já se haviam iniciado antes de abril de 2010, mas que ainda não haviam descartado RCC. Reformas não foram

consideradas, uma vez que a taxa de geração de RCC esperada deve ser extremamente variável, em função do grau de demolição envolvido. Também não foi computado do volume de RCC proveniente de escavações pelo fato de que tal geração varia bastante, desde quantidades desprezíveis, até volumes representativos no caso da existência de pavimentos no subsolo. Dessa forma, foi considerada apenas a quantificação dos RCC gerados no processo construtivo da edificação.

Para a coleta das características de cada obra e do acompanhamento de volume gerado de RCC, fez-se uso, para cada empresa, de uma ficha de acompanhamento e anotação do volume de descarte dos RCC ao longo do cronograma de execução da construção. A lista da amostra de 35 obras que fizeram parte desta pesquisa está descrita na Tabela 1, com informações como sua natureza, área a ser construída e período previsto para início e término.

As edificações residenciais referem-se a prédios de apartamentos (obras 1 a 11 e 15) e residências unifamiliares (obras 12 a 14), enquanto as de instituições públicas foram blocos de sala de aula, sala de professores e laboratórios em uma universidade (obras 16 a 33) e clínicas médicas (obras 34 e 35).

Determinação da massa unitária dos RCC

A massa unitária foi calculada com base em uma amostra dos RCC gerados nas obras 20, 21, 24 e 35 utilizando um recipiente de volume de 0,075575 m³, confeccionado no próprio canteiro de obra, e uma balança com capacidade para 150 kg e precisão de 0,1 kg, conforme a Equação 1.

$$M_U = \frac{M}{V} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

M_U : massa unitária do RCC (kg m⁻³);

M : massa de RCC (kg); e

V : volume de RCC (m³).

Foram feitas 20 pesagens, durante as quais foram tomadas as devidas precauções para a obtenção de um valor representativo da massa unitária. Foram coletados RCC das quatro classes descritas na Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), em etapas construtivas distintas e em períodos secos, para não ocorrer alteração da massa unitária devido à incorporação de umidade.

Tabela 1- Relação das obras estudadas para o acompanhamento da geração dos RCC

Obra	Natureza	Área construída (m ²)	Início	Término previsto
1	Residencial	985,50	jun/10	mar/11
2	Residencial	12.340,45	ago/09	jan/12
3	Residencial	43.858,80	dez/09	mar/12
4	Residencial	16.976,51	set/09	jan/12
5	Residencial	1.250,00	jan/09	ago/11
6	Residencial	950,00	ago/09	jul/11
7	Residencial	1.780,00	jul/10	ago/11
8	Residencial	1.949,00	ago/10	out/11
9	Residencial	1.194,50	dez/09	nov/11
10	Residencial	998,00	jul/09	jul/11
11	Residencial	1.450,30	mar/09	jan/12
12	Residencial	70,00	mar/11	set/11
13	Residencial	95,00	jan/11	jul/11
14	Residencial	150,00	fev/11	ago/11
15	Residencial	595,25	jul/11	fev/12
16	Edifício público	2.299,02	jan/09	dez/09
17	Edifício público	997,64	fev/09	mai/10
18	Edifício público	312,00	jan/10	abr/12
19	Edifício público	840,00	nov/10	jul/11
20	Edifício público	445,56	mar/10	fev/12
21	Edifício público	232,45	abr/10	fev/12
22	Edifício público	394,30	mar/10	jan/12
23	Edifício público	1154,3	abr/10	fev/12
24	Edifício público	754,93	fev/11	jan/12
25	Edifício público	1.979,00	jan/10	jan/12
26	Edifício público	1.104,00	fev/10	nov/12
27	Edifício público	1.399,64	set/09	nov/12
28	Edifício público	5.170,51	fev/10	dez/12
29	Edifício público	4.997,00	dez/09	nov/12
30	Edifício público	850,00	set/09	jan/12
31	Edifício público	474,00	mar/10	fev/12
32	Edifício público	335,00	fev/10	nov/12
33	Edifício público	504,00	dez/10	nov/12
34	Edifício público	455,40	mai/10	fev/11
35	Edifício público	1.031,80	fev/10	fev/11

Levantamento do volume de RCC

O volume de RCC descartado foi obtido por meio de fichas de acompanhamento distribuídas em cada uma das obras, onde o engenheiro responsável ou outro funcionário de perfil equivalente anotava as quantidades descartadas em contêineres estacionários ou diretamente em caminhões de capacidade volumétrica conhecida. Apesar de o volume gerado de RCC ter sido informado pela própria construtora, nas obras 16, 19, 21, 22, 24 e 35 não se fez necessária a ficha distribuída, e foram escolhidas como obras controle; nestes casos, o pesquisador efetuava visitas diárias nas obras citadas, acompanhando o descarte de RCC e excluindo, portanto, a possibilidade de informação imprecisa por parte da construtora.

Taxa de geração de RCC

A massa de RCC gerado foi estimada mediante volumes informados e massa unitária determinada, conforme a Equação 2:

$$M = M_U V \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

M : massa de RCC (kg);

M_U : massa unitária do RCC (kg m⁻³); e

V : volume de RCC (m³).

A taxa de geração dos RCC foi obtida a partir da razão entre sua massa e a área construída de cada obra (Equação 3).

$$T_x = \frac{M}{A_c} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

T_x : taxa de geração de RCC(kg m⁻²);

M : massa de RCC (kg); e

A_c : área construída (m²).

A média ponderada das taxas de geração foi calculada através do somatório da multiplicação das taxas pelas respectivas áreas construídas e posteriormente dividindo-o pelo somatório das áreas construídas (Equação 4).

$$T_{xp} = \frac{\sum_i^n T_{x_i} A_{c_i}}{\sum_i^n A_{c_i}} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

T_{xp} : média ponderada das taxas de geração de RCC (kg m⁻²);

T_x : taxa de geração de RCC(kg m⁻²); e

A_c : área construída (m²).

Para o cálculo da taxa de RCC classe A foi considerado que os resíduos desta classe representam 93% no computo geral do RCC, sendo este percentual a média dos valores reportados nos estudos de Brito Filho (1999), Costa e Almeida (1999), Carneiro *et al.* (2001), Carneiro (2005), Marques Neto e Schalch (2006) e Manfrinato, Esguícero e Martis (2008).

Validação da amostra

Para testar a validade das informações de volume de RCC fornecidas pelas construtoras, foi efetuada análise de variância através do Teste F . Esse procedimento estatístico pode ser empregado para testes de hipóteses na comparação das médias de dois ou mais grupos amostrais. Esse teste produz uma estatística ou razão F , cujo numerador representa a *variação entre os grupos* (S_b^2), e cujo denominador contém uma estimativa da *variação dentro dos grupos* (S_w^2). A formulação matemática do teste (Eq. 5, Eq. 6 e Eq. 7) encontra-se descrita em Laponi (1995). Calcula-se o valor de F pela relação mostrada na Equação 5:

$$F = \frac{S_b^2}{S_w^2} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

F : estatística F ;

S_b^2 : variância entre os grupos; e

S_w^2 : variância dentro dos grupos.

A *variância entre os grupos* é calculada através da Equação 6:

$$S_b^2 = \frac{\sum_j^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{k - 1} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde:

S_b^2 : variância entre os grupos;

n : número de elementos do grupo;

$\bar{X}_j$: média do grupo; e

$\bar{X}$: grande média.

A grande média é a média de todas as observações.

A *variância dentro* é calculada através da Equação 7:

$$S_w^2 = \frac{\sum_j^k (n_j - 1) S_j^2}{n_T - k} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

S_w^2 : variância dentro dos grupos;

n : número de elementos do grupo;

S : variância do grupo;

n_T : número total de observações; e

k : número de grupos.

Calculado o valor de F , compara-se a estatística com o valor F_C (F crítico) da distribuição F , que será determinado a partir da relação do grau de liberdade da variável do numerador ($v_1 = k - 1$) e grau de liberdade da variável do denominador ($v_2 = n_T - k$) para dado nível de significância. Se o valor da estatística F for menor que o valor crítico da distribuição F , diz-se que as médias amostrais não são significativamente diferentes entre si, e se o valor da estatística F for maior que o valor crítico da distribuição F , diz-se que as médias amostrais são significativamente diferentes entre si (LAPPONI, 1995). Os grupos analisados foram o grupo 1, formado pelas obras controle, e o grupo 2, formado pelas demais obras. O nível de significância estatística (α) adotado neste estudo foi de 5%.

Resultados e discussão

Massa unitária do RCC

A média da massa unitária e seus limites de 95% de confiança (Figura 1) foram comparados com valores reportados na literatura (CARNEIRO *et al.*, 2000; SOUZA, 2005; ÂNGULO *et al.*, 2011). A média aritmética da massa unitária das 20 amostras foi de 1.025 kg m⁻³, valor que se aproxima dos obtidos por Carneiro *et al.* (2000), Souza (2005) e Ângulo *et al.* (2011). O valor médio encontrado

(1025kg m⁻³)foi utilizado no cálculo da taxa de geração de RCC.

Taxa de geração de RCC

Das 35 obras consideradas, foram utilizadas para o cálculo da taxa de geração de RCC apenas aquelas finalizadas até 23 de março de 2012, que corresponderam a 22 obras. Juntas, as 22 obras somaram uma área construída de 82.705,41 m², valor superior aos reportados por Souza (2005) e Marques Neto e Schalch (2010). A Tabela 2 apresenta, para as 22 obras finalizadas, os valores da área construída, volume de RCC gerado, massa de RCC gerada (calculada utilizando a Equação 2 e o

valor da massa unitária de 1025 kg m⁻³) e taxa de geração de RCC, calculada através da Equação 3.

A análise de variância através do Teste F, comparando a taxa média do grupo 1 (obras controle) e a taxa média do grupo 2 (demais obras), foi efetuada e os resultados estão sumarizados nas Tabelas 3 e 4. Foi calculado o valor de F igual a 0,00041, que, comparado ao valor de F_c igual a 4,35, permite concluir que não há diferença significativa entre as médias das taxas de geração de RCC das obras controle e das demais obras, e portanto não há razão para se acreditar em informação imprecisa por parte das construtoras quanto aos dados de geração de RCC.

Figura 1-Valores comparativos da massa unitária de RCC

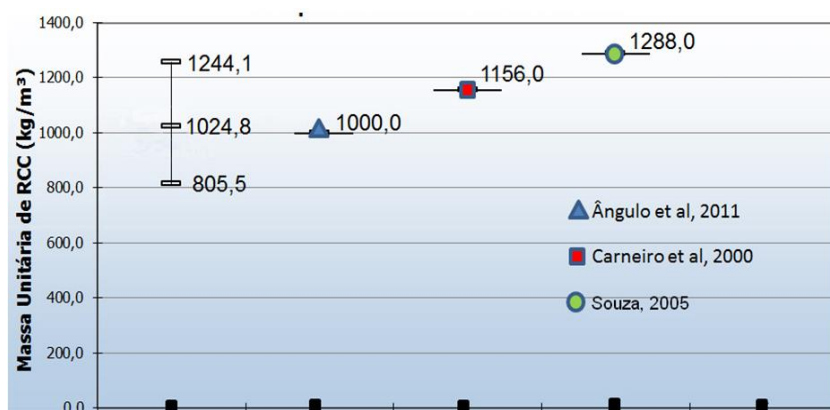


Tabela 2 - Relação das obras estudadas, com geração de RCC

Obra	Natureza	Área construída (m²)	Volume gerado de RCC (m³)	Massa gerada de RCC (kg)	Taxa de geração de RCC (kg m ⁻²)	Taxa de geração de RCC classe A (kg m ⁻²)
1	Residencial	985,50	97,0	99.425,00	100,89	93,83
3	Residencial	43.858,80	3.854,5	3.950.862,50	90,08	83,78
4	Residencial	16.976,51	1.515,5	1.553.387,50	91,50	85,10
5	Residencial	1.250,00	120,0	123.000,00	98,40	91,51
6	Residencial	950,00	100,0	102.500,00	107,89	100,34
7	Residencial	1.780,00	140,0	143.500,00	80,62	74,98
8	Residencial	1.949,00	180,0	184.500,00	94,66	88,03
9	Residencial	1.194,50	144,0	147.600,00	123,57	114,92
10	Residencial	998,00	105,0	107.625,00	107,84	100,29
12	Residencial	70,00	10,0	10.250,00	146,43	136,18
13	Residencial	95,00	10,5	10.762,50	113,29	105,36
14	Residencial	150,00	11,0	11.275,00	75,17	69,91
16	Edifício público	2.299,02	203,10	208.177,50	90,55	84,21
17	Edifício público	997,64	165,5	169.586,25	169,99	158,09
19	Edifício público	840,00	72,00	73.800,00	87,86	81,71
20	Edifício público	445,56	48,5	49.712,50	111,57	103,76
21	Edifício público	232,45	36,0	36.900,00	158,74	147,63
22	Edifício público	394,30	38,5	39.462,50	100,08	93,08
24	Edifício público	754,93	64,50	66.112,50	87,57	81,44
29	Edifício público	4.997,00	508,3	521.007,50	104,26	96,96
34	Edifício público	455,40	39,5	40.487,50	88,91	82,69
35	Edifício público	1.031,80	100,40	102.910,00	99,74	92,76
Total	-	82.705,41	7.575,75	7.765.143,75	-	-

Tabela 3-Estatística descritiva da taxa de geração de RCC para as obras controle (grupo 1) e demais obras (grupo 2)

	<i>n</i>	Soma	$\bar{X}$	<i>S</i>	<i>S</i> ²
Grupo 1	6	640,84	106,81	26,17	684,83
Grupo 2	16	1705,07	106,57	24,07	579,33

Tabela 4 -Análise de variância dataxa de geração de RCC para os grupos 1 e 2

<i>k</i>	<i>n_T</i>	$\bar{X}$	<i>S_w</i> ²	<i>S_b</i> ²	<i>F</i>	<i>v</i> ₁	<i>v</i> ₂	<i>F_C</i>
2	22	106,63	605,70	0,25	0,00041	1	20	4,35

Das obras concluídas (22 obras), 12 são residenciais e 10 são de instituições públicas. Foi efetuada análise de variância também para se verificarem possíveis diferenças entre as médias das taxas de geração das obras de natureza residencial (grupo 3) e das obras de edifícios públicos (grupo 4). Comparando-se o valor calculado de *F* (0,762) com o valor de *F_C* (4,35), conclui-se que não há diferenças significativas nas médias das taxas das obras de edificações residenciais e das obras de edifícios públicos (ver Tabelas 5 e 6).

Dessa forma, considerou-se a taxa de geração de RCC de todas as obras concluídas sem distinção quanto à tipologia de edificação residencial ou edifício público. A média aritmética das taxas de geração de RCC das obras concluídas foi de 106,63kgm⁻². Considerando a média ponderada das taxas de geração, com a área construída de cada obra sendo o peso na ponderação, o valor médio passa a ser 93,89kgm⁻². Observa-se que esse valor é próximo a 89,68 kgm⁻² (SOUZA, 2005).

Considerando resíduos apenas de classe A, tem-se que a taxa média aritmética foi de 99,17kgm⁻², e a ponderada (sendo o peso na ponderação a área construída) de 86,27 kgm⁻². A partir da taxa de RCC classe A encontrada (média aritmética), foram calculados os limites superior e inferior com 90% de confiança, mostrados na Tabela 7.

Dessa forma, considerou-se a taxa de geração de RCC de todas as obras concluídas sem distinção

quanto à tipologia de edificação residencial ou edifício público. A média aritmética das taxas de geração de RCC das obras concluídas foi de 106,63kgm⁻². Considerando a média ponderada das taxas de geração, com a área construída de cada obra sendo o peso na ponderação, o valor médio passa a ser 93,89kgm⁻². Observa-se que esse valor é próximo a 89,68 kgm⁻² (SOUZA, 2005).

Considerando resíduos apenas de classe A, tem-se que a taxa média aritmética foi de 99,17kgm⁻², e a ponderada (sendo o peso na ponderação a área construída) de 86,27 kgm⁻². A partir da taxa de RCC classe A encontrada (média aritmética), foram calculados os limites superior e inferior com 90% de confiança, mostrados na Tabela 7.

Como recomendação, os limites superior e inferior citados na Tabela 7 podem ser utilizados para fins de fiscalização e de gerenciamento junto a dada obra. Caso o gestor de uma obra declare uma quantidade gerada de RCC que resulte numa taxa inferior a 62,31 kgm⁻², o mesmo deveria pedir esclarecimentos ao órgão fiscalizador, demonstrando a baixa geração de RCC; esse procedimento poderia contribuir para a diminuição de deposições irregulares de RCC. No caso das obras que apresentem taxas de geração dos RCC acima de 136,02 kg m⁻², o gerenciamento dos processos construtivos empregados nessa obra deve ser revisto, de modo a minimizar tal geração e a evitar o desperdício na construção civil.

Tabela 5-Estatística descritiva da taxa de geração de RCC para as obras de edificações residenciais (grupo 3) e obras de edifícios públicos (grupo 4)

	<i>n</i>	Soma	$\bar{x}$	<i>S</i>	<i>S</i> ²
Grupo 3	12	1230,34	102,53	19,38	375,41
Grupo 4	10	1115,57	111,56	28,94	837,79

Tabela 6 -Análise de variância da taxa de geração de RCC para os grupos 3 e 4

<i>k</i>	<i>n_T</i>	$\bar{X}$	<i>S_w</i> ²	<i>S_b</i> ²	<i>F</i>	<i>v₁</i>	<i>v₂</i>	<i>F_C</i>
2	22	106,63	583,48	444,64	0,762	1	20	4,35

Tabela 7-Média aritmética, desvio padrão e limites de confiança para a taxa de geração de RCC classe A

Taxa média dos RCC Classe A (kg m ⁻²)	99,17
Desvio padrão (kg m ⁻²)	22,34
Limite superior com 90% de confiança (kg m ⁻²)	136,02
Limite inferior com 90% de confiança (kg m ⁻²)	62,31

Conclusões

A taxa de RCC bruto (classes A, B, C e D) encontrada em edificações na cidade de João Pessoa foi de 93,89 kg m⁻² de área construída.

A taxa média encontrada para os RCC de classe A foi de 86,27 kg m⁻², sendo os limites com 90% de confiança inferior e superior para a média 62,31 kg m⁻² e 136,02 kg m⁻² respectivamente.

Referências

- ANDRADE, A. C. *et al.* Estimativa da Quantidade de Entulho Produzido em Obras de Construção de Edifícios. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL; MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., São Paulo, 2001. **Anais...** São Paulo, 2001.
- ÂNGULO, S. C. **Variabilidade de Agregados Graúdos de Resíduos da Construção e Demolição Reciclados**. São Paulo, 2000.155 f.Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- ÂNGULO, S. C.; JOHN, V. M. **Requisitos Para Execução de Aterros de Resíduos de Construção e Demolição**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil: BT/PCC/436. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- ÂNGULO, S. C. *et al.* Resíduos de Construção e Demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 299-306, 2011.
- ATHAYDE JÚNIOR, G. B. *et al.* Reciclagem de Entulhos em Governador Valadares: uma alternativa viável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, Florianópolis, 2004. **Anais...** Florianópolis, 2004.
- BERNARDES, A. *et al.* Quantificação e Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição Coletados no Município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./set. 2008.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002. **Diário Oficial da União**, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004. **Diário Oficial República Federativa do Brasil**. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 431, de 24 de maio de 2011, que altera o artigo 3º da Resolução nº 307. 2011. **Diário Oficial da União**, n. 96, de 25 de maio de 2011.

- BRITO FILHO, J. A. Cidade Versus Entulhos. In: SEMINÁRIO SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999. p. 56-67.
- CARELI, E. D. **A Resolução CONAMA nº 307/2002 e as novas condições para gestão dos resíduos de construção e demolição.** São Paulo, 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2008.
- CARNEIRO, A. P. *et al.* Reciclagem de Entulho da Região Metropolitana de Salvador Para a Produção de Materiais de Construção de Baixo Custo. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., Porto Seguro, 2000. **Anais...** Porto Seguro: ABES, 2000.
- CARNEIRO, A. P. *et al.* Características do Entulho e do Agregado Reciclado. In: CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUN, I. A. S. (Orgs.). **Reciclagem de Entulhos Para a Produção de Materiais de Construção: Projeto Entulho Bom.** Salvador: EDUFBA – CEF, 2001.
- CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e Ações da Atual Situação dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife.** João Pessoa, 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- COSTA, L. S. N.; ALMEIDA, S. L. M. Caracterização Tecnológica dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) da Cidade de Macaé – RJ. In: JORNADA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INTERNA – CETEM, Rio de Janeiro, 1999. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 1999.
- EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa Sustentável Para Destinação de Resíduos de Construção Classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul./set. 2010.
- FORMOSO, C. T. *et al.* Perdas de Materiais na Construção Civil: um estudo em canteiros de obras no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo: POLI-USP, 1998. p. 299-307.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil:** contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, 2000. 102 f. Tese (Livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- LAPPONI, J. C. **Estatística Usando EXCEL.** São Paulo: Laponi Treinamento e Editora Ltda., 1995. 292 p.
- LLATAS, C. A. A model For Quantifying Construction Waste in Projects According to the European Waste List. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1261-1276, 2011.
- MANFRINATO, J. W. S.; ESGUÍCERO, F. J.; MARTIS, B. L. Implementação de Usina Para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) Como Ação Para o Desenvolvimento Sustentável: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., Rio de Janeiro, 2008. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.
- MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V. Diagnóstico Ambiental Para Gestão Sustentável dos Resíduos de Construção e Demolição. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., Figueira da Foz, Portugal, 2006. **Anais...** Figueira da Foz, Portugal: APRH/ABES, 2006.
- MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V. Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos, SP. **Engenharia Civil**, Minho, Portugal, v. 36, p. 41-50, 2010.
- MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001.
- OLIVEIRA, M. M. *et al.* Determinação da Taxa de Geração de RCC: estudo de caso das obras do campus I da UFPB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., Porto Alegre, 2011. **Anais...** Porto Alegre, 2011.
- PINTO, T. P. **Metodologia Para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana.** São Paulo, 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- SOLÍS-GUZMAN, J. *et al.* A Spanish Model For Quantification and Management of Construction Waste. **Waste Management**, v. 29, n. 9, p. 2542-2548, 2009.

SOUZA, V. B. **Avaliação da Geração de Entulho em Conjunto Habitacional Popular**: estudo de caso. Uberlândia, 2005. 251 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

VIOLIN, R. Y. T. **Diagnóstico da Geração de Resíduos de Construção e Demolição em Etapas Construtivas no Município de Maringá/PR**. Maringá, 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

ZORDAN, S. E. **A Utilização do Entulho Como Agregado na Confeção do Concreto**. Campinas, 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Saneamento e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

Ricardo Vasconcelos Gomes da Costa

Prefeitura Universitária | Universidade Federal da Paraíba | Campus I, Campus Universitário, Castelo Branco | João Pessoa - PB - Brasil | CEP 58059-900 | Tel.: (83) 3216-7170 | E-mail: ricardoecivil@gmail.com

Gilson Barbosa Athayde Júnior

Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Universidade Federal da Paraíba | Campus I, Campus Universitário, Castelo Branco | João Pessoa - PB - Brasil | CEP 58059-900 | Tel.: (83) 3216-7393 | E-mail: gilson@ct.ufpb.br

Mariana Moreira de Oliveira

Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Universidade Federal da Paraíba | Campus I, Campus Universitário, Castelo Branco | João Pessoa - PB - Brasil | CEP 58059-900 | Tel.: (83) 3216-7355 | E-mail: marianamoreiraa@hotmail.com

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br