

XII-128 - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Joácio de Araújo Morais Junior ⁽¹⁾

Eng. Civil (UFPB,1999), Mestre em DEA STD Sciences et Techniques du Déchet - Institut National Des Sciences Appliquées de Lyon (2003) e Doutor em Sciences Et Techniques Du Déchet - Institut National Des Sciences Appliquées de Lyon (2006). Professor no Centro de Tecnologia da UFPB, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e faz parte do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) da UFPB.

Nelson Pereira de Sousa Neto ⁽²⁾

Graduado em Engenharia Civil

Leomax Fernandes dos Santos Filho ⁽³⁾

Graduando em Engenharia Civil.

Leidson Allison da Silva Abrantes ⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Civil

Endereço ⁽¹⁾: Campus Universitário, Castelo Branco – João Pessoa-PB - CEP: 58.051-900 - Brasil - Tel: (83) 3216-7119 - e-mail: joacio@ct.ufpb.br

RESUMO

A massa unitária é uma propriedade física, característica de todo material, inclusive dos resíduos. E este trabalho teve como objetivo, estimar a densidade do Resíduo da Construção e Demolição (RCD), no seu estado natural, levando em consideração o volume de vazios existente neste, na sua disposição e transporte em caçambas estacionárias, calculado a partir de amostras de grande volume. Tendo em vista que a maioria dos outros trabalhos que estimaram essa propriedade do RCD, fizeram uso de pequenas amostras, o que pode tornar os resultados destes imprecisos, visto que este resíduo é composto por vários tipos de materiais que podem apresentar grandes dimensões, e que deixaram de ser considerados nestas amostragens.

PALAVRAS-CHAVE: Massa unitária, densidade, resíduo, construção, RCD.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no Brasil vem crescendo significativamente nos últimos anos, fazendo com que haja reflexos socioeconômicos no país, com participação de forma ativa na geração de empregos e renda. Por outro lado, a construção civil traz consigo uma intensa geração de resíduos, o RCD (Resíduo da Construção e Demolição) que, por vezes, dispostos de maneira inadequada, causam impactos ao meio ambiente, como a poluição do solo e das águas, assoreamento de córregos, colaborando para ocorrência de enchentes, proliferação de vetores de doenças, obstrução de vias, entre outros.

O tratamento adequado destes resíduos pode minimizar os problemas ambientais causados por este, principalmente nas cidades em processo de expansão ou renovação urbana mais intensa, pois estas necessitam de medidas de controle, tanto de gerenciamento, quanto de soluções adequadas em caráter permanente, como por exemplo, usina da reciclagem e utilização deste material noutras obras. No entanto, para a escolha e consequente dimensionamento de projetos e soluções para estes resíduos, faz-se necessário o conhecimento das características destes, tais como: as classes dos materiais contidos no RCD, as porcentagem de cada um desses materiais, massa unitária, taxa de geração e a partir de quais sistemas construtivos estes são provenientes.

Neste contexto, este trabalho busca estimar uma das propriedades do RCD, a massa unitária, a partir de dados de entulhos produzidos nas obras públicas do Campus I da UFPB, bem como dos produzidos em obras privadas para título de comparação. Buscando uma metodologia distinta das encontradas na literatura, além de trazer questionamentos a cerca das metodologias de obtenção de amostras para o cálculo da relação massa/volume para este resíduo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento de uma sociedade tem sido a construção civil, porém esta atividade causa diversos impactos ambientais, pois utiliza recursos naturais, modifica o meio ambiente e gera um grande volume de resíduos. Diante desse fato, nas últimas décadas vem aumentando a preocupação da sociedade, quanto à disposição final dos resíduos gerados por ela.

Para reduzir os impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil não basta ter uma destinação adequada dos resíduos, é fundamental recorrer a ações que busquem reduzir sua geração na fonte, ou seja, nos canteiros de obra, (SOUZA, 2004). Ainda, para Arruda (2005), a reciclagem surge como uma medida necessária em função da existência de RCD, mas, para ser viável, deve-se levar em consideração as condições em que os resíduos serão segregados. De acordo com Morais (2006), um dos maiores problemas na gestão dos municípios é o descarte inadequado do RCD, pois provocam impactos significativos no meio ambiente urbano, o que pode comprometer a paisagem, o tráfego de pedestres e veículos, a drenagem urbana, além de atrair resíduos não inertes que contribuem para a multiplicação de vetores de doenças.

Segundo Oliveira (2008), as características dos resíduos de construção e demolição (RCD) são bem peculiares, podendo variar sensivelmente em função da tecnologia aplicada na construção, material aplicado durante a obra, da mão de obra utilizada, do local da geração e das variantes referentes à qualidade do projeto. A quantidade do RCD gerado no Brasil sofre interferências diretas devidas essas variações, assim pode-se observar claramente a necessidade de reduzir e de reciclar.

Teixeira (2010) fala que, é generalizada em todo o mundo a problemática dos resíduos sólidos. Os resíduos sólidos produzidos variam em sua composição e podem ser identificados desde o tipo doméstico, hospitalar, químico, industrial e, entre outros, resíduos gerados pela construção civil.

Cada vez mais urbana torna-se a humanidade e, para Teixeira (2010), proporcionalmente à urbanização cresce a produção de resíduos. E a geração de resíduos é diretamente proporcional ao crescimento e ao desenvolvimento econômico de uma sociedade.

De acordo com Bernardes et al. (2008), o primeiro passo para o desenvolvimento de ações visando o gerenciamento eficaz do RCD é a realização de um diagnóstico local. No qual, estudos já realizados, de forma geral, mostraram que, identificando aspectos referentes a esses resíduos tais como origem, taxa de geração, agentes envolvidos na geração e coleta, destinação final, entre outros, que servem de base para o dimensionamento de ações para o atendimento da resolução vigente.

Em 2002 o Conama emitiu a resolução nº 307 (BRASIL, 2002), esta foi resultado de várias pesquisas científicas e publicações que a precederam, esta resolução normalizou a maioria das questões relacionadas aos RCD, obrigando os municípios brasileiros a elaborarem e implementarem um Plano Municipal de Gerenciamento dos Resíduos de Construção Civil, conforme a situação local. Ainda definiu RCD como sendo resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção, bem como os resultantes da preparação e escavação de terrenos.

A resolução nº. 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) têm como principal finalidade estabelecer critérios, diretrizes e procedimentos para que haja uma gestão de resíduos na construção civil de forma a minimizar os impactos ambientais por eles causados.

Segundo esta resolução, os geradores devem ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final. Os geradores estão obrigados, de acordo a resolução, a elaborar e colocar em prática os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

Ainda conforme a Resolução nº. 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) e a Resolução nº. 348 do CONAMA (BRASIL, 2004), os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito destas resoluções, da seguinte forma:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto.
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;

Classe D - são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados 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.

A resolução nº 448 do CONAMA publicada em 18 de janeiro de 2012, veio com o objetivo de modificar os critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil (RCC), que eram estabelecidos pela resolução 307, de 2002.

Ou seja, diante do crescente aumento da produção de RCD no território brasileiro, viu-se a necessidade de se adequar a Resolução 307/2002 com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, no que diz respeito à utilização e descarte dos RCD. Com isso, o governo aumenta a responsabilidade dos geradores de RCD para o gerenciamento deles.

Primeiramente, ela traz a definição do que é um aterro de resíduos de classe A de reservação de material para usos futuros, área de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (ATT), gerenciamento e gestão de resíduos sólidos, não deixando brechas para uma aplicação errada da norma.

O conceito de reservação, que substitui aterro e inserida pela norma, é uma forma de armazenamento de resíduos, que visa facilitar a reutilização ou futuro emprego da área que será utilizada para descarte do RCD. Depois, ela proíbe a disposição dos RCD em aterros de resíduos domiciliares, obrigando que ela seja feita em aterro de resíduos sólidos urbanos. Também define, no seu Art. 4º, que os geradores devem ter como principal objetivo a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Por fim, ela faz o ajuste nos processos de licenciamento para áreas de beneficiamento e preservação de resíduos e de disposição final de rejeitos.

Esta resolução se estende tanto para os municípios brasileiros, como para o setor privado, tendo como o prazo máximo de um ano, a partir da publicação da resolução, para a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e mais seis meses para a sua implementação.

Aquele que não se enquadrar nessa resolução, poderá ser denunciado na Lei dos Crimes Ambientais, e para os municípios, a elaboração do plano é um requisito obrigatório para que eles tenham acesso aos recursos da União.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo realizar a determinação da massa unitária do RCD. Pois esta, também é uma característica física importante do resíduo para projetar futuras ações que possam vir a ser tomadas com vistas ao atendimento das normas vigentes e, em consequência, para contribuir na preservação do meio ambiente. A massa unitária também é utilizada de forma direta, em diversos estudos, para o cálculo da taxa de geração de resíduos das mais diversas obras de um município, estado ou até mesmo país. Além de, por vezes, servir para o cálculo para o pagamento de contratos de transporte de resíduos.

Souza (2005) determinou a massa unitária fazendo pesagens dos RCD gerados na construção de conjuntos habitacionais populares, calculando a média aritmética das pesagens do entulho no seu estado bruto e chegando ao valor de 1.288 kg/m^3 . Para chegar a este resultado, após o final de cada residência, o método escolhido para a qualificação do material, além da caracterização visual, foi o quarteamento, conforme NBR 9941 (1987), para retirada de amostra e pesagem em recipiente (caixote metálico) de volume conhecido de $19,824 \text{ dm}^3$.

Após o final de cada residência, o método escolhido para a qualificação do material, além da caracterização visual, foi o quarteamento, conforme NBR 9941 (1987), para retirada de amostra e pesagem em recipiente de volume conhecido, para possibilitar o cálculo da massa unitária.

Após este trabalho o material era peneirado em peneira de abertura $4,8\text{mm}$, que faz a separação por granulometria entre agregados miúdos e graúdos, e novamente pesado, o que passava na peneira e o que ficava retido nesta.

Antes do quarteamento eram retirados dos montes de entulho eventuais lixos, como podas de árvores, sacos vazios de cimento ou pedaços de panos, e os montes eram revolvidos para que ficassem bem homogêneos. As Figuras 4.24 e 4.25 mostram o processo de limpeza e revolvimento do material. A terra misturada era retirada o tanto quanto possível (Souza, 2005, p.109).

Ângulo (2011) chegou ao valor de 1.000 kg/m^3 com base em levantamento de campo. Para este levantamento, foi feito durante o período de dez dias a quantificação de RCD, amostrando-se uma caçamba por dia em diferentes horários e proveniente de diferentes regiões de um município de 36.300 habitantes na região Noroeste do estado de São Paulo, totalizando dez caçambas para caracterização e definição da composição do RCD dentro das classes A, B, C e D, conforme resolução CONAMA 307. Os RCD das dez caçambas foram misturados por meio de uma retroescavadeira e reduzidos sucessivamente por quarteamento, até a obtenção de uma amostra de 3 m^3 . Essa amostra foi transportada para o laboratório, onde foi homogeneizada pela técnica de pilha alongada (PETERSEN, 2004) e dividida em uma alíquota de 500 kg. Esta alíquota foi sucessivamente quarteada até a obtenção de duas amostras de 5 kg, utilizadas para segregação e quantificação dos materiais representantes de cada classe, de acordo com a norma NBR 15116 (ABNT, 2004), aplicável aos agregados reciclados de RCD.

Carneiro (2005) fazendo a média da massa unitária do entulho bruto de Recife chegou ao valor de 1.360 kg/m^3 . Para efeito desta caracterização foram consideradas quatro fases distintas de produção de uma obra: fundação, estrutura, alvenaria e acabamento. A partir daí, foram coletadas quatro amostras de aproximadamente 13 kg para cada fase de produção considerada, totalizando 16 amostras coletadas em canteiros de obras distintos, em seguida as amostras foram misturadas e divididas em três novas amostras. Foi realizada então a determinação da massa unitária das três, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 7251. A massa unitária no estado solto dos RCD gerados na Cidade do Recife foi a média dos resultados obtidos para as três amostras.

Para efeito desta caracterização foram consideradas quatro fases distintas de produção de uma obra: fundação, estrutura, alvenaria e acabamento. A partir daí, foram coletadas quatro amostras de aproximadamente 13 kg (Figura 5) para cada fase de produção considerada, totalizando 16 amostras coletadas em canteiros de obras distintos.

De posse das amostras foi realizada, no Laboratório de Materiais de Construção da Escola Politécnica de Pernambuco, a caracterização visual das mesmas, de acordo com o tipo de material existente em sua composição (concreto, argamassa, tijolos cerâmicos, gesso, areia, entre outros), através da separação visual e posterior determinação da massa dos mesmos, conforme pode ser observado na Figura 6 (Carneiro, 2005, p. 59).

Figura 1: figura 5 – Amostras de RCD. Fonte: Carneiro, F. P. (2005).

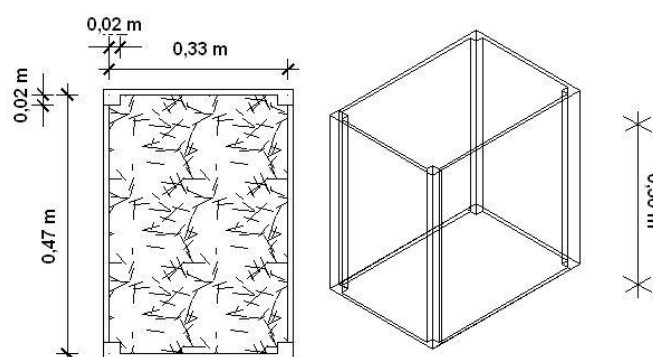


Costa (2012) utilizando um recipiente feito no próprio canteiro de obra, com volume de $75,575 \text{ dm}^3$, e uma balança Filizola com capacidade para 150 kg e precisão de 0,1 kg, chegou a uma massa unitária de 1.025 kg/m^3 . Foram feitas 20 pesagens para o cálculo da massa unitária, sendo 5 pesagens em quatro obras distintas na cidade de João pessoa, e com RCD bruto ao longo da execução da edificação.

A massa unitária foi calculada com os RCC gerados nas obras 20, 21, 24 e 35 utilizando um recipiente feito no próprio canteiro de obra, com volume de $0,075575 \text{ m}^3$, calculado de acordo com as dimensões da Figura 8, e uma balança Filizola com capacidade para 150 kg e precisão de 0,1 kg. Foram feitas 20 pesagens para o cálculo da massa unitária, sendo 5 pesagens em cada obra e com RCC bruto ao longo da execução da edificação.

Durante a pesagem, foram tomadas devidas precauções para a obtenção de um valor representativo da massa unitária, coletando RCC de diferentes classes e em etapas construtivas diferentes e em períodos secos, para não ocorrer alteração da massa unitária devido à incorporação de umidade. O conteúdo da caixa era nivelado com sarrafo antes da pesagem (Costa, 2012, p.41).

Figura 2: figura 8 - Desenho esquemático da caixa utilizada para determinação da massa unitária do RCC. Fonte: Costa, R. V. G. (2012).



A densidade do RCD encontrada por Tessaro; Sá; Scremin (2011) da cidade de Pelotas, RS, foi de 1.280 kg/m^3 . Essa caracterização quantitativa foi realizada durante o ano de 2009. Realizou-se a média do peso, em toneladas, do RCD coletado e enviado ao aterro pelos setores público e privado, durante o período de 12 meses, e a quantidade de caçambas estacionárias e caminhões poliguindastes utilizados para esse transporte, considerando sempre o volume nominal destes.

Para realizar a caracterização qualitativa dos RCD no aterro municipal, utilizou-se o método de amostragem de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2004). A amostragem consistiu na seleção aleatória de 3 caçambas de 5 m³ de resíduos provenientes de diferentes locais dispostos no aterro controlado do município. Posteriormente foram coletadas, de cada caçamba, 5 amostras de 18 litros, totalizando uma amostra de 90 litros por caçamba.

Com o total das amostradas representativas da composição dos RCD, realizaram-se a separação e a classificação dos componentes, determinação do volume e do peso dos resíduos e a análise gravimétrica do RCD. A classificação dos resíduos foi realizada conforme a Resolução do Conama nº 307 (BRASIL, 2002) e nº 431 (BRASIL, 2011) (Tessaro et al, 2012, p.125).

Em São Carlos foi desenvolvida uma pesquisa na qual, Marque Neto (2003) apud Marques Neto (2010), caracterizou o RCD do município através de amostras do material em seu estado natural, não havendo a minimização do volume de vazios existente no resíduo, estas foram coletadas no depósito de entulhos da cidade de Aracy.

Marque Neto (2003) caracterizou qualitativamente os RCD do município de São Carlos-SP. Através do cálculo da massa específica dos materiais foi determinada a composição percentual dos RCD das amostras. Cabe ressaltar que a massa unitária de RCD nesta pesquisa foi de 0,6 t/m³, diferente do índice 1,2 t/m³ normalmente encontrado na literatura. O autor reporta que o índice de 0,6t/m³ foi obtido pela relação massa/volume de amostras de materiais *in natura* retidos das caçambas, portanto, com vazios. (Marque Neto, 2010, p. 49).

Percebe-se que quase todos os pesquisadores citados, que determinaram a massa unitária do RCD estudado, fizeram uso de amostras de pequenos volumes e alguns adotaram o método de amostragem por quarteamento para este cálculo, o que pode tornar estes valores obtidos distantes do real, já que no processo de quarteamento, pode-se deixar de fora da amostra matérias de grandes dimensões como madeira, aço, blocos de concreto entre outros, bem como desconsiderar ou minimizar o volume de vazios existente no material *in natura*, como é possível observar nas imagens das amostras de alguns destes trabalhos.

A pesquisa desenvolvida em São Carlos, apesar de também utilizar amostras de pequenos volumes, foi a única que fez uso do volume do material *in natura*, assim, não minimizou o volume de vazios existente neste. Desta forma, a proposta deste trabalho difere dos demais aqui apresentados, no sentido de tentar estimar a massa unitária do RCD a partir de grandes volumes, além de fazer uso de amostras do material *in natura* nas caçambas estacionárias de 5,0 m³, para que assim o volume de vazios ali existentes sejam levados em consideração, e o resultado forneça um valor de massa unitária mais aproximado do real.

Tabela 1: Resumo das massas unitárias encontradas na literatura

MASSA UNITÁRIA DO RCD	
MAQUES NETO (2003)	600 kg/m ³
SOUZA (2005)	1.288 kg/m ³
CARNEIRO (2005)	1.360 kg/m ³
ÂNGULO (2011)	1.000 kg/m ³
TESSARO;SÁ; SCREMIN (2011)	1.280 kg/m ³
COSTA (2012)	1.025 kg/m ³

Com relação à composição dos resíduos da construção, alguns estudos estimam as porcentagens de cada material presente nestes. Segundo estudos feitos por Ângulo (2005), os RCD no Brasil são compostos essencialmente por concreto e argamassa, rochas naturais e material cerâmico, apresentando, porém, grandes variações nas proporções de cada um destes. O Figura 3, tabela extraída de Costa, R. V. G. (2012), resume as porcentagens encontradas por diversos autores nesses tipos de estudos, realizados em diversas cidades brasileiras.

MATERIAL	ORIGEM					
	São Paulo SP ¹	Salvador BA ²	Recife PE ³	Lençóis Paulista SP ⁴	São Carlos SP ⁵	Macaé RJ ⁶
Concreto e Argamassa	33	53	44	68	29	-
Solo e Areia	32	22	23	7	9	-
Cerâmica	30	14	19	21	40	-
Rochas	-	5	3	-	10	-
Outros	5	6	11	-	12	-
TOTAL DE RCC CLASSE A	95	94	89	96	88	94,9

(1) Brito Filho, 1999, citado por John, 2000. (2) Carneiro et al, 2001, (3) Carneiro, 2005, (4) Manfrinato, 2008 (5) Marques Neto e Schalch, 2006 (6) Costa *et al.*, (1999)

Figura 3: Resumo de estudos quanto à composição do resíduo da construção e demolição.
Fonte: Costa, R. V. G. (2012)

A partir dos resultados da composição dos RCD estudados, percebe-se que os materiais cimentícios (concreto e argamassa) e materiais cerâmicos foram os que apresentaram maior participação na composição dos RCD descartados, e desta forma, evidencia-se que a maior parte deste é composta por resíduos que são passíveis de reciclagem.

Pode-se destacar também, as disparidades dos valores das pesquisas supracitadas, por exemplo, em Lençóis Paulista-SP, a porcentagem de concreto e argamassa foi mais que o dobro da encontrada no estudo de São Carlos-SP, enquanto que a porcentagem de materiais cerâmicos daquele foi praticamente a metade deste. Isso mostra a peculiaridade do RCD, que tem suas características bastante variáveis, inclusive a massa unitária. As características físicas deste, são sensíveis a tecnologia aplicada na construção, material utilizado durante a obra, a mão de obra utilizada, ao local da geração e das variantes referentes ao da qualidade do projeto.

METODOLOGIA

Buscou-se dados de massa e volume do RCD produzido no Campus I da UFPB (Caso I) e que foi enviado ao aterro sanitário, junto à empresa responsável pelo transporte deste e a Prefeitura Universitária. Posteriormente foram realizados acompanhamentos e verificado as medidas, de algumas caçambas estacionárias a fim de realizar uma estimativa de quanto a mais ou a menos do volume nominal os caminhões transportam nestas, bem como realizar uma análise visual dos resíduos.

Além disso, conseguiram-se dados, de massa e volume, de RCD de obras privadas, através da empresa de transporte de resíduos Via Limpa Serviços Ambiental e Locação de Equipamentos LTDA (Caso II), que atua na cidade de João Pessoa-Pb, para que pudesse ser feito um comparativo entre os resultados de densidades do RCD produzido em obras públicas e em obras privadas. Por fim, foi realizado o cálculo da massa unitária do RCD e um comparativo com as densidades encontradas noutros trabalhos de pesquisa, bem como a estimativa do total de RCD produzido no período dos dados analisados.

RESULTADOS

Caso I (UFPB) – Parte I:

Buscou-se junto à DSG (Divisão de Serviços Gerais) da Prefeitura Universitária, os arquivos dos CTR (Controle de Transporte de Resíduos) dos entulhos gerados e encaminhados ao aterro sanitário nos últimos meses, obtendo assim, dados de massa e volume do entulho gerado neste Campus I da UFPB, que serviram de amostras para o estudo. Lá foi disponibilizado as cópias dos CTR (ANEXO I) da 1ª a 5ª medição de

pagamento, que compreende os meses de setembro de 2013 a janeiro de 2014, da empresa responsável pelo transporte, que é a Construtora Leon Sousa LTDA. De posse dessas cópias, foram montadas planilhas com os dados de número da CTR, número de Ticket de Pesagem, o peso de entrada do caminhão, peso de saída com as caçambas vazias, peso líquido do entulho, volume nominal das caçambas estacionárias, volume real das mesmas e a massa unitária de cada amostra, com a finalidade de obter a estimativa da massa unitária do entulho contido em cada uma das caçambas e posteriormente calcular o valor médio destas densidades.

Porém, como os dados eram de caçambas de entulhos anteriormente transportados, foi feito o acompanhamento do momento da retirada das caçambas do Campus até a disposição no aterro sanitário da cidade de João Pessoa. Para que pudesse ser feita uma análise visual dos materiais que compunham este entulho, e também poder estimar qual o volume real transportado nestas caçambas, que tem capacidade nominal de 5,0 m³. Então, este acompanhamento foi realizado para dezesseis caçambas estacionárias, em dias e locais diferentes. Neste momento, também foi possível verificar as medidas (comprimentos) destes equipamentos (caçambas estacionária), para calcular a capacidade volumétrica real.

Em cada acompanhamento foi feito a análise visual do entulho presente nas caçambas, bem como medição da altura do entulho no eixo central da caçamba em relação às bordas laterais destas em vários pontos, com a finalidade de, com o auxílio da computação gráfica, traçar o perfil do entulho depositado nestas caçambas e assim estimar o volume mais aproximado possível do real ocupado nas estacionárias. Como podemos observar abaixo.

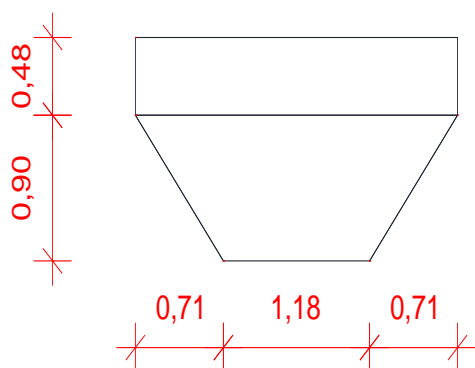


Figura 4: Medidas da Caçamba Estacionária.



Figura 5: Corte Transversal em Caçamba Estacionária.

Após a estimativa do volume real em cada uma das caçambas acompanhadas, pode-se observar que estas, em sua maioria, encontravam-se abaixo de sua capacidade real que é de 4,93 m³. Isso se devia ao fato de que, segundo o fiscal responsável, o caminhão não suportava erguer as caçambas para colocá-las em sua carroceria, caso estas estivessem totalmente cheias ou acima de sua capacidade. Desta forma, foi possível estimar que, em média, as caçambas são carregadas abaixo de sua capacidade em aproximadamente 16,0%, ou seja, transportam cerca de 4,20 m³.

Tabela 2: Estimativa do volume (em m³) de transporte das caçambas estacionárias utilizadas pela UFPB.

ESTIMATIVA DOS VOLUMES DE TRANSPORTE NAS CAÇAMBAS ESTACIONÁRIAS ACOMPANHADAS (EM M ³)														
ACOMP.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	VOL. MÉDIO	% PARA + OU -
UFPB	3,8	3,2	4,3	4,9	4,1	4,7	5,7	4,1	3,7	3,7	3,3	4,5	4,20	-16,05%

Caso II (Via Limpa):

Com a finalidade de fazer um comparativo quanto ao valor da massa unitária do RCD produzido em obras privadas e públicas, esta última, o caso das obras do Campus I da UFPB, foi feito também o acompanhamento da retirada e transporte de três caçambas estacionárias utilizadas por obras privadas e que tinham contrato com a empresa de transportes de resíduos Via Limpa. Além disso, também foram solicitados dados de massa e volume de contratos anteriores, os quais o entulho transportado era encaminhado ao aterro sanitário da cidade. E da mesma forma, foram verificadas as medidas dos equipamentos utilizados por esta, bem como as alturas do entulho em relação à borda das caçambas, para estimar o volume real transportado e consequentemente a massa unitária daquele material.

A partir dos dados coletados nos acompanhamentos junto à empresa Via Limpa, foi possível determinar a capacidade real de suas caçambas estacionárias que é de 4,32 m³, mas que nominalmente também é de 5,0 m³, além de perceber que, em sua maioria, são transportadas com volume superior a sua capacidade real, o que foi confirmado pelo motorista da empresa. Desta forma, também com o auxílio da computação gráfica, traçou-se o perfil do entulho e estimou-se que, em média, o volume real transportado excede em 25,70% à capacidade real, o que resulta num volume de 5,43 m³.

Tabela 2: Estimativa do volume (em m³) de transporte das caçambas estacionárias utilizadas pela Via Limpa.

ESTIMATIVA DOS VOLUMES DE TRANSPORTE DAS CAÇAMBAS ESTACIONÁRIAS					
ACOMP.	1	2	3	VOL. MÉDIO	% PARA + OU -
VIA LIMPA	5,36	5,46	5,48	5,43	25,70%

Caso I x Caso II:

Com o volume real médio transportado nas caçambas estacionárias da UFPB e da Via Limpa, procedeu-se o cálculo da massa unitária para cada uma das amostras dos entulhos enviados ao aterro sanitário, através da relação massa/volume. Posteriormente foi feita a média das massas unitárias de cada uma das amostras, a fim de obter o valor a ser adotado como referência para a densidade deste material. Assim, foi obtido como média geral das massas unitárias, o valor de 582,0 kg/m³ para as amostras do Campus I-UFPB, que totalizaram 345 amostras (caçambas estacionárias) e uma massa total de 834,52 toneladas de material.

Tabela 3: Massa unitária média e massa total, por período e geral, do Campus I da UFPB.

RESUMO DOS DADOS DO CAMPUS I DA UFPB							
PERÍODO	1	2	3	4	5	6	GERAL
MASSA UNITÁRIA MÉDIA (kg/m ³)	701,02	553,57	517,01	644,68	545,40	597,67	582,00
MASSA TOTAL (ton)	199,72	177,99	119,43	157,43	102,11	77,84	834,52

Enquanto que, para as amostras dos contratos disponibilizados pela empresa Via Limpa, que totalizaram 238 amostras (caçambas estacionárias) e uma massa total de 761,38 toneladas de material, foi obtida uma massa unitária média da ordem de 597,0 kg/m³.

Tabela 4: Massa unitária média e massa total, por contrato e geral, da Via Limpa.

RESUMO DOS DADOS DA VIA LIMPA			
CONTRATO	1	2	GERAL
MASSA UNITÁRIA MÉDIA (kg/m ³)	572,70	747,57	597,00
MASSA TOTAL (ton)	608,61	152,77	761,38

Logo, percebe-se que há pouca variação entre a densidade média geral do RCD produzido no Campus I da UFPB e nas obras privadas analisadas.

Podemos perceber também, a partir do gráfico abaixo, que mais de 90,0% das amostras dos dois casos, resultaram numa massa unitária inferior a 1.000,0 kg/m³, valor que é superado na maioria dos outros trabalhos que estimaram essa propriedade do RCD, aqui citados.

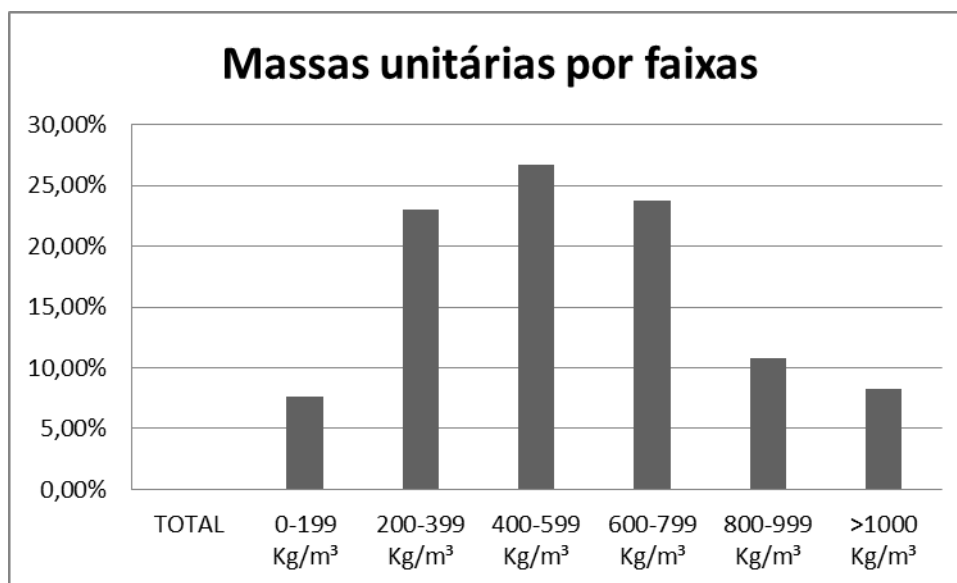


Figura 6: Resultados das massas unitárias de todas as amostras por faixas.

Quanto ao aspecto da composição das amostras, tanto do Campus I quanto da Via Limpa, foi possível perceber que a maior parte dos resíduos era composta por resíduos do Tipo A, que são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: materiais cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa, concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.); e também por materiais do Tipo B, que são resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Porém, no caso das amostras da UFPB, que eram materiais que estavam sendo recolhidos por estarem abandonados pelo Campus I, provenientes de obras que foram acabadas anteriormente, estas acabavam por apresentar também resíduos provenientes de capinação e varrição.

CONCLUSÕES

A partir dos levantamentos feitos e dos dados coletados foi possível chegar ao objetivo deste trabalho, que era estimar a massa unitária do resíduo da construção e demolição *in natura*, tal como este é armazenado e transportado em caçambas.

Os valores para massa unitária encontrados, de 582,0 kg/m³ nas obras públicas da UFPB e 597,0 kg/m³ para as obras privadas que contrataram a empresa Via Limpa, difere bastante dos valores encontrados na literatura, que chegam até mesmo a mais que o dobro desse valor. Logo, aqui pode-se deixar alguns questionamentos, um deles é quanto a utilização, em alguns trabalhos, de valores encontrados na literatura e assumidos como suficiente, sem mesmo analisar se as etapas das obras, porcentagem de materiais encontrados, sistema construtivo que foram utilizados naquela pesquisa de referência, assemelham-se ou não ao do estudo em desenvolvimento.

Outra questão é quanto à representatividade das amostras utilizadas no cálculo da massa unitária nas outras pesquisas aqui citadas. Pois, como pode-se extrair dos textos e visualizar nas imagens destes, todas as amostras eram de pequenos volumes e massa, obtidas, na maioria das vezes, através do método de quarteamento, que acabam por deixar de fora materiais de grandes dimensões, tais como: blocos, tubos e meio-fio de concreto, peças de madeira etc., conseqüentemente havendo a minimização dos volumes de vazios existente no resíduo, o que interfere diretamente no valor da densidade. O que não acontece no método adotado neste trabalho, que

se estimou a massa unitária a partir de amostras com um volume aproximado a 4,2 e 5,4 m³, além de ter avaliado um total de quase 1.600 toneladas de entulho em seu estado natural de acondicionamento e transporte.

Ainda que alguns dos trabalhos citados tenham estimado a massa unitária a partir de amostras de resíduos da Classe A, esta não pode ser considerada como densidade do RCD. Pois, é sabido que os resíduos provenientes dos canteiros de obras são bastante heterogêneos, apresentando materiais misturados de todas as classes. A menos que haja uma coleta seletiva no canteiro, medida que ainda é pouco difundida.

O trabalho de Marques Neto (2003) apud Marques Neto (2010) foi o único dos trabalhos encontrados, que fez uso de amostras do RCD em seu estado natural e não minimizou o volume de vazios existentes no resíduo, e assim estimou a massa unitária do RCD em 600,0 kg/m³, praticamente idêntico aos valores aqui encontrados. Assim sendo, podemos considerar o resultado deste trabalho satisfatório, pois abre a discussão quanto aos métodos de amostragem para a estimativa da densidade do RCD, requerendo assim mais pesquisas sobre o tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÂNGULO, S.C.; TEIXEIRA, C.E.; CASTRO, A.L.; NOGUEIRA, T.P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Eng. Sanit. Ambient. [online]. v.16, n.3, p. 299-306, 2011. ISSN 1413-4152.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução 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.
3. BERNARDES, A. et al. Quantificação e Classificação dos Resíduos da Construção e Demolição Coletados no Município de Passo Fundo, RS. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./out. 2008.
4. CARNEIRO, F. P. Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife. . João Pessoa, 2005. Dissertação (Mestrado)-UFPB/CT.
5. COSTA, L.S.N; De ALMEIDA, S.L.M. Caracterização tecnológica dos resíduos de construção e demolição (RCD) da cidade de Macaé – RJ. I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, 1999.
6. COSTA, R. V. G. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. João Pessoa, 2012. Dissertação (Mestrado)-UFPB/CT.
7. MARQUES NETO, J. C. Estudo de gestão municipal de resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica de Turvo Grande. Tese de Doutorado da escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Carlos-SP. 2009.
8. MORAIS, G. M. D. Diagnóstico da Deposição Clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em Bairros Periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável. Uberlândia, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
9. SOUZA, V. B. Avaliação da Geração de Entulho em Conjunto Habitacional Popular – Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2005. 251p.
10. SOUZA, U. E. L. Diagnóstico e Combate à Geração de Resíduos na Produção de Obras de Construção de Edifícios: uma abordagem progressiva. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, out./dez. 2004.
11. TESSARO, A. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. Ambiente Construído, vol.12 - no.2. Porto Alegre Apr./June 2012.
12. TEIXEIRA, C. A. G. Jogando Limpo: estudo das destinações finais dos resíduos finais dos resíduos sólidos da construção civil no contexto urbano de Montes Claros. Montes Claros, 2010. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2010. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. Technology evaluation of sequencing batch reactors. Journal Water Pollution Control Federation, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.