

## MÉTODOS ESTIMATIVOS DA GERAÇÃO E COMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA REVISÃO

### ESTIMATIVE METHODS OF GENERATION AND COMPOSITION OF MUNICIPAL SOLID WASTE: A REVIEW

**Ricardo Cesar Conrado de Souza**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil  
conrado\_ricardo@hotmail.com

**Ellen Caroline Baettker**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil  
ebaettker@gmail.com

**André Nagalli\***

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil  
nagalli@utfpr.edu.br

**Ronaldo Luís dos Santos Izzo**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil  
izzo@utfpr.edu.br

#### **Resumo**

A estimativa da composição e geração de resíduos sólidos urbanos é importante para o planejamento de sua gestão, considerando a tendência de alteração das características dos resíduos sólidos com o desenvolvimento econômico, social e cultural das populações. Diversos fatores podem ser citados como influentes nas taxas de composição e geração de resíduos sólidos urbanos, tais como aspectos econômicos, sociais, culturais e até mesmo geográficos. Existem muitos métodos para a estimativa da composição e geração de resíduos sólidos urbanos, desde a separação e caracterização manual por amostragens até modelagens matemáticas mais modernas, com a utilização de softwares e análises estatísticas. Nota-se a existência de diversas pesquisas nessa área em diferentes países. A partir de análises, torna-se possível criar parâmetros em função dos níveis sociais e econômicos em que se encontram as diferentes sociedades mundiais. Além disso, diferentes métodos aplicados podem ocasionar divergências entre os dados reais em função da confiabilidade e correta execução dos métodos estimativos.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos. Métodos estimativos. Composição. Geração.

#### **Abstract**

The estimation of the composition and generation of municipal solid waste is important for the planning of their management, considering the tendency of change in the characteristics of solid waste to the economic, social and cultural development of the people. Several factors can affect the composition rates and generation of municipal solid waste, such as economic, social, cultural and even geographical. There are many methods to estimate the composition and generation of municipal solid waste, such as simple manual sample separation and characterization and modern mathematical modeling, using software and statistical analyzes. The existence of several studies in this area in different countries is noted. From analysis, it's possible to create parameters based on

social and economic levels in which the different world societies are found. In addition, the use of different methods may cause differences between actual data based on reliable and correct execution of estimative methods.

**Keywords:** Municipal solid waste. Estimative Methods. Composition. Generation.

## **1 Introdução**

A estimativa da composição e geração de resíduos sólidos urbanos é importante para o planejamento de sua gestão, tanto em cenários presentes quanto em cenários futuros, uma vez que há tendência de alteração das características dos resíduos sólidos com o desenvolvimento econômico, social e cultural das populações. A viabilidade de estudos de medidas sustentáveis para a destinação dos resíduos depende desses dados que caracterizam a sua geração.

Diversos fatores podem ser citados como influentes nas taxas de composição e geração de resíduos sólidos urbanos, tais como a localização, sazonalidades, taxas de desemprego, tamanho das famílias, renda per capita, padrões de consumo, práticas culturais e o turismo. Ou seja, aspectos econômicos, sociais, culturais e até mesmo geográficos afetam de forma direta ou indireta na quantidade e tipo de resíduo produzido.

Existem muitos métodos para a estimativa da composição e geração de resíduos sólidos urbanos, desde a separação e caracterização manual por amostragens até modelagens matemáticas mais modernas, com a utilização de softwares e análises estatísticas. Podem ser citadas ainda pesquisas realizadas por meio da utilização de questionários e as correlações com o Produto Interno Bruto (PIB) do local avaliado.

Muitas pesquisas foram realizadas nessa área em diferentes países de modo a caracterizar a composição e geração de resíduos sólidos urbanos. A partir de análises, torna-se possível criar parâmetros em função dos níveis sociais e econômicos em que se encontram as diferentes sociedades mundiais, objetivo proposto pelo presente trabalho.

## **2 Revisão da literatura**

Al-Jarallah e Aleisa (2014), ao compararem estatisticamente a caracterização de resíduos do Kuwait com publicações anteriores, a partir de 1995, indicaram que as proporções de quase todos os resíduos mudaram significativamente. Estas alterações na composição dos resíduos indicam uma nova tendência no estilo de vida da população, fato que deve ser considerado quando do planejamento de tratamento de resíduos em cenários futuros. Logo, é necessária uma análise mais aprofundada sobre as tendências de geração de resíduos residenciais, comerciais e industriais.

Além disso, características dos resíduos orgânicos, tais como o teor de umidade, são importantes para comparações entre opções de destinação, como a compostagem, produção de

biogás ou utilização como ração animal. No entanto, devem-se avaliar aspectos financeiros, ambientais, sociais, técnicos e legais para determinar se as quantidades produzidas são suficientes para a criação de um sistema de gestão de resíduos em larga escala (AL-JARALLAH; ALEISA, 2014).

Determinações confiáveis e precisas sobre as quantidades e composição dos resíduos são necessárias para o planejamento de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos (LI; FU; QU, 2011). Esse planejamento, de forma sustentável, tem de enfrentar várias questões como a capacidade do aterro, os impactos ambientais e as despesas financeiras, tornando-se cada vez mais necessário entender a natureza dinâmica das suas interações (KOLLIKKATHARA; FENG; YU, 2010). Porém, sempre a minimização de resíduos na fonte, bem como a separação de materiais recicláveis são aspectos indispensáveis para uma eficaz gestão dos resíduos sólidos urbanos (AL-JARALLAH; ALEISA, 2014).

A reciclagem é um fator importante quando se trata sobre a previsão de geração de resíduos sólidos, conforme afirmam Chang e Lin (1997). Ao trazermos essa questão para um cenário atual, pode-se apontar o estudo de Mbiba (2014) em cidades africanas, o qual confirmou que, mesmo num contexto fraco para sustentabilidade ambiental, existe uma economia de reciclagem de resíduos, fonte de renda e subsistência para as famílias e empresas.

Lino e Ismail (2012) apresentam em seu estudo uma avaliação do potencial de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil como um instrumento para lidar com dois dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) da Organização das Nações Unidas (ONU): erradicar a pobreza e a fome e garantir a sustentabilidade ambiental. No cenário proposto os materiais recicláveis seriam comercializados e os orgânicos biodegradáveis depositados em aterros para produção de biogás. Os autores afirmam que a adoção de políticas públicas nessa área pode proporcionar enormes benefícios, tais como ganhos adicionais monetários, economia de energia, redução das emissões, além de reduzir os problemas de saúde pública e das despesas com os resíduos.

Forouhar e Hristovski (2012) afirmam que os seguintes itens são importantes como base para o desenvolvimento de um sistema de gestão de resíduos sólidos sustentável: avaliação dos principais fatores que afetam o fluxo de resíduos sólidos e coleta, estimativa da taxa de geração de resíduos sólidos e caracterização da composição de resíduos sólidos.

Segundo Lisa e Anders (2008), para estudo de composição do lixo doméstico é necessário decidir o tamanho e o número de amostras exigidas, escolher o local de amostragem e escolher o tipo e o número de categorias de resíduos a serem investigados.

## 2.1 Principais fatores influentes

Segundo Slagstad e Brattebø (2013), a incerteza sempre está presente na composição dos resíduos, visto que é influenciada por muitos fatores, podendo variar de ano para ano, sazonalmente e com a localização, por exemplo. Ainda, os dados acessíveis ao público podem ser incompletos, tornando a análise da composição tecnicamente desafiadora. Ainda de acordo com os autores, a análise de cinco cidades norueguesas mostrou grande variação na composição dos resíduos nos municípios. Portanto, uma composição de resíduos de outra cidade ou uma média estimada pode influenciar o resultado de um estudo. Ter dados confiáveis sobre a quantidade é de grande importância para a credibilidade dos resultados.

Keser, Duzgun e Aksoy (2012), ao estudarem os fatores que afetam as taxas de resíduos sólidos urbanos na Turquia, afirmam que em escala nacional a geração está significativamente relacionada à taxa de desemprego e a taxa de estradas pavimentadas. No entanto, estas variáveis podem variar em escala local para algumas províncias, podendo ter diversos fatores importantes. Afirmam ainda que um país pode ser dividido em sub-regiões conforme os fatores que afetam as taxas de geração de resíduos. Logo, diferentes políticas de gestão de resíduos podem ser desenvolvidas para estas sub-regiões.

Lebersorger e Schneider (2011) investigaram os fatores que afetam a geração de resíduos sólidos na Áustria, a fim de identificar possíveis critérios, tais como a influência do meio rural ou urbano, o tipo de casa das famílias e a disponibilidade de um recipiente para armazenar resíduos orgânicos na propriedade. Lebersorger e Beigl (2011), em estudo na província de Styria, apontam como importantes fatores no município o tamanho das famílias, o imposto municipal, a receita per capita e a porcentagem de edifícios com combustível sólido para aquecimento. Outros fatores como turismo, compostagem doméstica, distribuição etária da população e tamanho da população residencial, acabaram por ser secundários e não foram incluídos, visto que não significativamente melhoraram o modelo.

Rhyner e Green (1988) afirmam que projeções mais precisas podem ser produzidas com base no tamanho da comunidade, porém Benítez *et al.* (2008) apontam que a quantidade de resíduos não depende apenas disso, estando relacionada com fatores como o processo de urbanização, os padrões de consumo, as práticas culturais relacionadas à gestão de resíduos, a renda e o uso de tecnologia.

Rhyner (1992), ao estudar os padrões para geração residencial, comercial, construção, demolição e resíduos de pneus descartados na cidade de Brown County nos Estados Unidos no período de 1985 a 1989, afirma que existe geração menor que a geração média nos meses de

inverno e maior do que a média em meses de verão, com os componentes residenciais e comerciais sendo os mais previsíveis.

Ogwueleka (2013), sobre a geração de resíduos em Abuja, capital da Nigéria, afirma que é possível relacionar renda per capita e geração diária de resíduos domésticos. A renda familiar teve uma relação positiva com a geração diária de resíduo per capita nos três níveis socioeconômicos. O estudo revelou ainda uma diferença significativa entre o tamanho da família e a geração diária de resíduos per capita no grupo de alta renda, uma ligeira diferença entre o tamanho da família e a geração diária de resíduos per capita no grupo de renda média e não houve diferença significativa entre o tamanho da família e geração diária de resíduos per capita no grupo de baixa renda.

De acordo com Mateu-Sbert *et al.* (2013), o turismo pode sustentar altos níveis de emprego e renda, porém o setor é uma fonte de impactos no meio ambiente, sendo um dos mais importantes o da produção de resíduos sólidos urbanos. O objetivo da pesquisa realizada pelos autores foi estimar o impacto da população turística nos resíduos sólidos urbanos durante o período de 1998 a 2010 na ilha mediterrânea de Menorca na Espanha. Os resultados mostram que, em média, um aumento de 1% na população turística provoca um aumento de 0,282 % na geração de resíduo. Enquanto um morador gera 1,48 kg/dia, um turista gera 1,31 kg/dia. Além disso, um aumento de 1 % na população turística provoca um aumento de 0,232 % em materiais recicláveis recolhidos separadamente. Este resultado pode ser útil para melhor estimar a população sazonal de diferentes regiões, ajudando no planejamento de infraestrutura do serviço de coleta de resíduos em zonas turísticas.

## **2.2 Métodos estimativos de geração e composição**

Beigl, Lebersorger e Salhofer (2008) fizeram uma revisão sistemática de 45 modelagens para geração de resíduos, a qual revelou quatro critérios de classificação característicos: escala regional, o tipo de fluxo de resíduos modelados, o tipo de variáveis independentes e método de modelagem.

A importância da estimativa da geração de resíduos pode ser mensurada com dados informados por Pappu, Saxena e Asokelar (2007): globalmente, a quantidade estimada da geração de resíduos no ano de 2002 foi de 12 bilhões de toneladas. Os autores afirmam ainda que 19 bilhões de toneladas de resíduos sólidos deverão ser gerados anualmente até o ano de 2025.

### **2.2.1 Método “casa-a-casa”**

O método “casa-a-casa” é caracterizado por visitas para medir as quantidades de resíduos gerados por família. Embora este método produza resultados confiáveis, é tedioso, caro e difícil de aplicar, especialmente em comunidades onde a acessibilidade é limitada (IBIEBELE, 1986).

Qu *et al.* (2009) também utilizaram um procedimento semelhante em Pequim, na China. As etapas detalhadas do processo são as seguintes:

- Os resíduos de cada domicílio amostrado foram pesados usando uma balança com uma sensibilidade de 0,01 kg;
- Os resíduos de cada amostra foram separados por profissionais trabalhadores. Na China, os resíduos são normalmente classificados como resíduos de cozinha, papel, plásticos, metais, vidro, têxteis, tijolos e telhas, madeira e outros resíduos;
- Papel e plásticos foram ainda separadas de acordo com os seus valores de reciclagem para análise posterior;
- Após a separação, resíduos classificados em cada amostra foram pesados e colocados em sacos diferentes;
- A densidade foi determinada usando uma caixa com um volume de 50 litros;
- A caixa vazia e a caixa cheia para cada resíduo foram pesadas, de modo a fornecer o peso dos resíduos;
- A densidade do total de resíduos também foi determinada da mesma forma;
- Todos os processos de pesagem foram realizados duas vezes para eliminar eventuais erros.

### **2.2.2 Método de estimativa a partir de coleta em containers**

Tendo em vista as dificuldades citadas para o método “casa-a-casa”, um método rápido para estimar a taxa de geração de resíduos sólidos foi desenvolvido e avaliado na Nigéria por determinação do número, tamanhos e volumes de coleta de resíduos sólidos urbanos. Com um total de 480 leituras em 148 localizações, foram utilizados containers para determinar a média do número de dias necessários para enchê-los. O produto do número total de containers, os seus volumes e a densidade média dos resíduos sólidos, dividido pelo produto entre o número de dias necessários para encher os containers e a população da área de estudo, resulta na taxa de geração per capita (IBIEBELE, 1986).

Ibiebele (1986), com base nos resultados apresentados no trabalho, afirma que as seguintes conclusões podem ser feitas:

- A taxa de geração per capita de resíduos sólidos determinado usando o método apresentada não é diferente dos resultados obtidos com a utilização do tradicional método “casa-a-casa”;

- Os parâmetros medidos – números e volumes de containers e número de dias necessários para enchê-los – são fáceis de medir e não são facilmente modificados, tornando o método fiável, rápido e aplicável a muitas comunidades.

Um método semelhante foi utilizado por Philippe e Culot (2009) na cidade de Cabo Haitiano, Haiti, onde os resíduos recolhidos em um conjunto de dias em determinados domicílios com dada população eram progressivamente despejados em uma lata de 20 dm<sup>3</sup> e pesados, fornecendo a geração diária per capita de resíduos sólidos.

### **2.2.3 Método padrão para determinação da composição de resíduos sólidos municipais (ASTM, 2008)**

Utilizado por Al-Jarallah e Aleisa (2014) e descrito pela norma D5231-92 (ASTM, 2008) reaprovaada no ano de 2008, trata-se de um método normatizado para determinar a composição dos resíduos sólidos urbanos. Consiste resumidamente em:

- Selecionar determinado número de amostras de triagem com massa de 96 a 131 kg (200 a 300 lb) necessário para se obter dado nível de precisão desejado;
- Preparar um local limpo para despejar os resíduos da amostra total, esta com pelo menos quatro vezes a massa média da amostra de triagem, ou seja, 454 kg (1000 lb);
- Misturar a amostra total e realizar o quarteamento da amostra total, obtendo-se então a amostra de triagem;
- Separar a amostra de triagem em recipientes conforme as categorias de resíduos sólidos estabelecidos;
- A separação continua até que o tamanho máximo das partículas de resíduos remanescentes seja de aproximadamente 12,7 mm (0,5 polegadas);
- As partículas remanescentes devem ser repartidas entre as categorias existentes a partir de estimativa visual;
- Realizar a pesagem das categorias de material.

### **2.2.4 Método baseado em dados estatísticos e questionários**

Li, Fu e Qu (2011) desenvolveram para Pequim, na China, um modelo com base nas inter-relações das despesas com bens de consumo, distribuição do tempo, atividades diárias, grupos de moradores e geração de resíduos por diferentes atividades. O princípio é que os resíduos sólidos urbanos produzidos pelo consumo de bens pelos moradores se encaixariam em atividades de "manutenção" (necessidades básicas de alimentação, moradia e cuidados pessoais), "subsistência" (fornecendo os requisitos financeiros) e "lazer" (atividades sociais e recreativas). Três séries de

importantes parâmetros de geração de resíduos foram determinadas utilizando uma análise estatística, uma pesquisa de amostragem e o Analytic Hierarchy Process, respectivamente. Os dados para análise foram obtidos a partir do Anuário Estatístico de Pequim (2004-2008) e inquérito por questionário. Os resultados revelam que a atividade “manutenção” produziu mais resíduos sólidos urbanos, seguido de longe por "lazer" e atividades de “subsistência”.

Quanto ao uso de questionários, foram também utilizados em pesquisa na região metropolitana de Toronto, no Canadá, tendo a vantagem de seu custo ser relativamente baixo (YU; MACLAREN, 1995).

### **2.2.5 Método por modelos matemáticos de regressão**

Realizado por Lebersorger e Beigl (2011), o estudo da geração de resíduos em Styria, Áustria, incluiu uma análise de dados exploratória e uma análise de regressão múltipla, com dados utilizados a partir do ano 2001. O tamanho da amostra foi de 542 municípios. Foram utilizados para análise os pacotes de programas Microsoft Excel 2003 e SPSS 15.0. O objetivo da análise exploratória foi a caracterização básica dos dados. Medidas de tendência central e de dispersão, valores extremos, correlações bivariadas entre as variáveis independentes e entre as variáveis independentes e a variável dependente de geração de resíduos sólidos foram determinados. Como a maioria dos dados não apresentou distribuição normal, foram utilizados coeficientes de correlação de Spearman. Os resultados serviram de base para a redução do número de variáveis de entrada potenciais para a regressão do modelo. Algumas das variáveis pré-selecionadas são as seguintes: população residencial, tamanho das famílias, porcentagem da população entre faixas etárias determinadas (0-5 anos, 5-15 anos, 15-60 anos e 60 ou mais anos), porcentagem de imigrantes, receita tributária municipal per capita, porcentagem de empregados nos três setores da economia, densidade populacional, porcentagem de domicílios com compostagem doméstica entre outros.

### **2.2.6 Método por modelos matemáticos de linearidade**

Benítez *et al.* (2008) estabeleceram para uma cidade mexicana modelos matemáticos que correlacionam a geração de resíduos sólidos urbanos per capita com as seguintes variáveis: educação, renda por domicílio e número de moradores. O trabalho foi baseado em dados de um estudo sobre a geração, quantificação e composição do lixo residencial na cidade em três etapas. A fim de definir modelos de previsão, cinco variáveis foram identificadas e incluídas no modelo. Para cada fase de amostragem de resíduos foi desenvolvido um modelo matemático diferente, de modo a encontrar o modelo que apresentou a melhor relação linear para prever a geração de resíduos sólidos residenciais. Posteriormente, explorada a combinação de variáveis incluídas, foram selecionados aqueles que mostraram um  $R^2$  superior, pois quanto maior esse coeficiente de



determinação, melhor ele se ajusta à amostra em questão. Outro modelo, formulado com quatro variáveis, foi gerado e aplicado o teste de Durbin–Watson, com o intuito de detectar padrões de comportamento a partir de somas ponderadas. Por fim, um modelo matemático geral foi proposto para prever a geração de resíduos residenciais.

### **2.2.7 Programa de amostragem e análise de todos os componentes do fluxo de resíduos sólidos urbanos**

Burnley *et al.* (2007) desenvolveram um método para a seleção de áreas de amostragem, levando em consideração a geografia, gestão de resíduos e fatores sócio-demográficos. Este método assegura que as amostras individuais tiradas são representativas da sua área local e as amostras agregadas são representativas de toda uma região ou país. A pesquisa foi concebida para obter e analisar amostras representativas de todos os componentes do fluxo de resíduos sólidos urbanos no País de Gales. As amostras foram tomadas de resíduos coletados em nove áreas de todo o país, sendo então classificadas em categorias por tipo de material. Um inquérito por questionário também foi realizado entre os domicílios amostrados.

### **2.2.8 Software Stella**

Dyson e Chang (2005) utilizaram aplicativos de simulação de computador com modelos dinâmicos para a cidade de San Antonio, Texas (EUA). Trata-se do software Stella, o qual oferece uma solução flexível para a construção de uma variedade de modelos de simulação, criando relações dinâmicas entre os elementos, incluindo variáveis, parâmetros e suas ligações. Cinco modelos de planejamento foram considerados com base em diferentes tipos de modelos de dinâmica do sistema, com diferentes combinações de fatores que influenciam a geração de resíduos sólidos. Todos os modelos de planejamento foram baseados no pressuposto de que o padrão de reciclagem existente através do setor privado permanecerá por todo o planejamento horizonte, portanto o sistema irá manter constantemente um nível mínimo de reciclagem. Interações entre vários componentes do sistema dentro de um prazo prescrito foram examinados de forma dinâmica através do uso desse software. As disparidades nos extremos das estimativas indicam que é importante escolher o modelo mais adequado para evitar super ou subestimação da tonelagem gerada. Os autores afirmam ainda que os resultados de modelagem são diretamente úteis para o planejamento do sistema que envolve os resíduos sólidos urbanos.

### **2.2.9 Relação com o produto interno bruto (PIB)**

Daskalopoulos, Badr e Probert (1998), correlacionaram dados publicados sobre a geração de resíduos sólidos urbanos em países europeus durante o período 1980 a 1993 e para os EUA entre

1960 e 1993 com os valores correspondentes para o Produto Interno Bruto (PIB) e população. A composição típica de resíduos sólidos urbanos foi expressa em termos da fração de despesa com consumo de bens e produtos que resultam na geração de resíduos sólidos urbanos. Um modelo que liga esse parâmetro ao PIB foi desenvolvido e utilizado para estimar os valores das frações individuais no total de resíduos sólidos urbanos gerados. As correlações permitiram previsões altamente precisas da quantidade total de resíduos sólidos urbanos em ambas as regiões estudadas.

Porém, em um cenário mais atual para a Finlândia, Sokka, Antikainen e Kauppi (2007) sugerem que a relação entre o crescimento do PIB e da produção de resíduos sólidos urbanos não é tão clara como tem sido frequentemente assumido. Entre 1960 e 1990 a geração aumentou continuamente no país. Depois disso, diminuiu de 3,1 milhões de toneladas em 1990 para 2,4 milhões de toneladas em 1994 e para 2,2 milhões de toneladas em 1997. A partir de 1997 a produção de resíduos sólidos urbanos aumentou para 2,6 milhões toneladas em 2000 e voltou a diminuir para 2,4 milhões de toneladas em 2002. Comparado com o crescimento do PIB, o crescimento da geração de resíduos sólidos urbanos foi mais lento na década de 1990 do que tinha sido nas três décadas anteriores.

## **2.3 Estudos de caso**

Para quantificar a geração e a composição de resíduos sólidos urbanos em diversos países citam-se alguns estudos realizados na área, de modo a se criar um panorama geral sobre o assunto em termos mundiais.

### **2.3.1 País de Gales**

Os resultados de pesquisa estimam que 36 % dos resíduos sólidos urbanos no País de Gales consistem em materiais recicláveis e outros 28 % são de resíduos compostáveis. Sessenta e dois por cento dos resíduos são classificados como biodegradáveis e materiais de embalagem são responsáveis por 17 % do total. Produtos elétricos e eletrônicos são responsáveis por 2 % e 0,8 % é composto por material potencialmente perigoso (BURNLEY et al., 2007).

### **2.3.2 Polônia**

Em pesquisa realizada em cidades polonesas foram obtidos valores para geração de resíduos sólidos urbanos no intervalo de 0,65 a 0,85 kg por habitante por dia. Tal variabilidade foi justificada em função de diferentes métodos utilizados, sazonalidades nem sempre consideradas em todos os casos e a própria diferença entre os locais avaliados (BOER *et al.*, 2010).

### **2.3.3 Canadá**

Estima-se que a geração diária de resíduos sólidos urbanos na cidade de London, Ontário, Canadá, é de 1,2 kg por habitante, sendo constituído por 30 % de matéria orgânica, 32 % de papel, 10% de plástico, 3 % de metais, 6 % de vidros e 19 % entre outros materiais (ASASE *et al.*, 2009).

### **2.3.4 Gana**

Estima-se que a geração diária de resíduos sólidos urbanos na cidade de Kumasi, Gana, é de 0,6 kg por habitante, sendo constituído por 64 % de matéria orgânica, 3 % de papel, 4 % de plástico e 1 % de metais (ASASE *et al.*, 2009).

### **2.3.5 Nigéria**

Utilizando o método rápido estimativo citado anteriormente, Ibiebele (1986) obteve a taxa de geração em Porto Harcourt, Nigéria, no valor de 0,22 kg por habitante por dia, enquanto pelo método tradicional, “casa-a-casa”, a geração de resíduos sólidos foi de 0,19 kg por habitante por dia.

Ogwueleka (2013) realizou um estudo com o objetivo de avaliar as quantidades e composição do agregado familiar geração de resíduos sólidos em Abuja, capital da Nigéria, dentro de diferentes grupos socioeconômicos. Os resíduos provenientes de 74 famílias de diferentes níveis socioeconômicos foram coletados, pesados e classificados em uma base diária, durante sete dias, em fevereiro de 2012. O resultado mostrou que a geração média diária de lixo doméstico per capita é de 0,634 kg por habitante por dia. A característica de resíduos sólidos na cidade é típica para as cidades em desenvolvimento e dominado por resíduos orgânicos. A composição dos resíduos consistiu em 63,6 % de material orgânico, 9,7 % de papel, 8,7 % de plásticos, 3,2 % de metal, 2,6 % de vidro, 1,6 % têxtil e 10,6 % outros (não classificada) e a densidade foi de 240 kg/m<sup>3</sup>.

Apesar de se tratarem de duas cidades distintas, nota-se o aumento da geração de resíduos em relação às duas pesquisas citadas, visto que possuem um intervalo de tempo de quase três décadas.

### **2.3.6 China**

Qu *et al.* (2009) realizaram uma pesquisa sobre geração e composição de resíduos domésticos em Pequim, China. Comunidades de amostra foram selecionadas pela integração de índices de população, como família, renda, idade e educação. Resíduos foram amostrados em uma base diária de 113 famílias em seis bairros diferentes da cidade por 10 dias. Durante o período da pesquisa, um total de 856,3 kg de resíduos sólidos foi recolhido, envolvendo uma população de 368

habitantes. Os resultados mostraram que a taxa de geração de resíduos domésticos foi de 0,23 kg por habitante por dia. A densidade era de aproximadamente 221 kg/m<sup>3</sup>, e o teor de umidade era de cerca de 50%. Os resíduos eram compostos de resíduos de cozinha, papel e papelão, plásticos, têxteis, metais, vidros e outros resíduos, sendo a proporção de cada um aproximadamente 69,3 %, 10,3 %, 9,8 %, 1,3 %, 0,8 %, 0,6 % e 2,7 %, respectivamente.

### **2.3.7 Kuwait**

Os resultados de pesquisa de Al-Jarallah e Aleisa (2014) indicaram que a média diária de geração de resíduos urbanos é 1,01 kg por habitante. Pesquisas foram realizadas para mais de 600 amostras de resíduos sólidos urbanos, dentre os quais foram considerados papel, fibras onduladas, garrafas PET, plástico, matéria orgânica, madeira, metal, vidro, entre outros. Os resultados indicaram que resíduos orgânicos dominam a caracterização (44,4 %), seguido pelo plástico (11,2 %) e, em seguida, as fibras onduladas (8,6 %). A variação sazonal significativa foi observada em quase todas as categorias de resíduos.

### **2.3.8 Afeganistão**

O fluxo de resíduos sólidos da cidade de Cabul, Afeganistão, foi caracterizado com fração orgânica de cerca de 70% e peso específico de 413 kg/m<sup>3</sup>, com margem de 52 kg/m<sup>3</sup> para mais ou para menos. A taxa estimada de geração de resíduos sólidos varia entre 0,31 e 0,43 kg por habitante por dia (FOROUHAR; HRISTOVSKI, 2012).

### **2.3.9 Vietnã**

Thanh, Matsui e Fujiwara (2010) realizaram estudo para avaliar a quantidade e composição dos resíduos sólidos domiciliares e com o intuito de identificar oportunidades para a reciclagem de resíduos na cidade de Can Tho, a capital da região do Delta do Mekong, no sul da Vietnã. Um levantamento de dois estágios de 100 famílias foi realizado para estação seca e estação chuvosa em 2009. Resíduos sólidos domiciliares foram coletados de cada família e classificados em 10 categorias físicas e 83 subcategorias. A taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares média foi de 0,285 kg por habitante por dia.

### **2.3.10 Nepal**

Em estudo realizado por Dangi, Urynowicz e Belbase (2013) na cidade de Tulsipur, Nepal, cerca de 100 famílias do município foram investigadas através de técnicas de amostragem por conglomerados para caracterizar os resíduos sólidos domiciliares e examinar as práticas de gestão

de resíduos. O estudo descobriu que a composição dos resíduos sólidos domiciliares é de 46 % de resíduos orgânicos, 11 % de restos de construção, 10 % de plástico, 7 % de vidro, 6 % de papel derivados, 5 % para os metais, 5% de borracha e couro, 1 % de materiais têxteis, 1 % de resíduos perigosos e 8 % de outros resíduos. Tulsipur gera 0,330 kg por habitante por dia de resíduos sólidos domiciliares. A composição dos resíduos sugere que, embora os resíduos orgânicos ainda sejam o maior componente, os itens recicláveis têm surgido nos últimos anos.

Outro estudo desenvolvido por Dangi *et al.* (2011) na capital Catmandu descobriu que 0,497 kg por habitante por dia de resíduos sólidos foram gerados em habitações. A composição dos resíduos se deu por 71 % de resíduos orgânicos, 12 % de plástico, 7,5 % de papel e derivados, 5 % de restos de construção e de 1 % resíduos perigosos.

### 2.3.11 Haiti

O objetivo de Philippe e Culot (2009) foi realizar uma pesquisa de campo do perfil de geração de resíduos sólidos urbanos na cidade de Cabo Haitiano, Haiti, a fim de ter dados relevantes que permitissem uma melhor gestão e valorização dos resíduos. As residências da cidade foram classificadas em três tipos diferentes (I, II e III), representando grupos socioeconômicos de alta, média e baixa renda, respectivamente. A geração de resíduos foi quantificada e caracterizada pelo tipo de ala. Os resultados mostram que a taxa é de 0,21 kg por habitante por dia. A matéria orgânica representa 65,5 % de resíduos, sendo similar aos resultados dos países em desenvolvimento.

## 2.4 Comparativo

Os dados citados foram compilados na Tabela 1, na qual é demonstrado um resumo geral dos valores de geração e composição dos principais resíduos sólidos urbanos em diversos países.

Tabela 1 – Resumo geral de valores de geração e composição de resíduos sólidos urbanos

(continua)

País	Geração per capita (kg / hab.dia)	Composição (%)				
		Matéria orgânica	Plástico	Papel	Vidro	Metal
<b>País de Gales</b> (BURNLEY <i>et al.</i> , 2007)	-	28,00	-	-	-	-
<b>Polônia</b> (BOER <i>et al.</i> , 2010)	0,650 - 0,850	-	-	-	-	-
<b>Canadá</b> (ASASE <i>et al.</i> , 2009)	1,200	30,00	10,00	32,00	6,00	3,00
<b>Gana</b> (ASASE <i>et al.</i> , 2009)	0,600	64,00	4,00	3,00	-	1,00
<b>Nigéria</b> (OGWUELEKA, 2013)	0,634	63,60	8,70	9,70	2,60	3,20
<b>China</b> (QU <i>et al.</i> , 2009)	0,230	69,30	9,80	10,30	0,60	0,80
<b>Kuwait</b> (AL-JARALLAH; ALEISA, 2014)	1,010	44,40	11,2	8,6	-	-
<b>Afganistão</b> (FOROUHAR; HRISTOVSKI, 2012)	0,310 - 0,430	70,00	-	-	-	-

País	Geração per capita (kg / hab.dia)	Composição (%)				
		Matéria orgânica	Plástico	Papel	Vidro	Metal
<b>Vietnã</b> (THANH <i>et al.</i> , 2010)	0,285	-	-	-	-	-
<b>Nepal - Tulsipur</b> (DANGI <i>et al.</i> , 2013)	0,330	46,00	10,00	6,00	7,00	5,00
<b>Nepal - Catmandu</b> (DANGI <i>et al.</i> , 2011)	0,497	71,00	12,00	7,50	-	-
<b>Haiti</b> (PHILIPPE; CULOT, 2009)	0,210	65,50	-	-	-	-

Fonte: Autoria própria

A análise de pesquisas na área permite afirmar que países com economias mais avançadas possuem, no geral, uma maior geração de resíduos sólidos urbanos per capita, além de possuir uma menor parcela de matéria orgânica em sua composição, como é o caso do País de Gales, do Canadá e do Kuwait. Já países com economias mais fracas em âmbito mundial, como Gana, Nigéria, Afeganistão, Vietnã, Nepal e Haiti, apresentam menores taxas nas quantidades diárias de geração de resíduos sólidos e uma maior parcela de matéria orgânica em sua composição.

Pode-se citar como exceção o caso da China, que embora tenha uma das maiores economias mundiais, apresenta taxas de composição e geração de resíduos comparáveis com as de países subdesenvolvidos, talvez pelas características culturais de sua sociedade. Além disso, em um mesmo país podem-se ter diferentes taxas ao se analisar diferentes cidades, como é o caso do Nepal. Isso demonstra a dificuldade em se gerar dados precisos sobre essas taxas dos resíduos sólidos.

### 3 Conclusões

Em função da variedade de resíduos sólidos urbanos existentes, tornam-se importantes estimativas de sua composição e de sua geração, de modo a se planejar a correta destinação e disposição final em aterros sanitários no futuro. Como medidas mais sustentáveis de destinação podem ser citadas a reciclagem e a produção de biogás, as quais dependem de análise de viabilidade em função do tipo e quantidade de resíduo produzido em dado local.

Diferentes métodos foram utilizados para determinação das taxas nas pesquisas citadas, podendo então haver divergências entre os dados reais em função da confiabilidade e correta execução dos métodos estimativos. Porém, os parâmetros de geração e composição de resíduos sólidos urbanos em função da quantidade per capita diária e da porcentagem de matéria orgânica presente podem ser relacionados aos aspectos sociais e econômicos dos países citados, visto que no geral condizem com a realidade de suas populações.

Para obtenção de resultados mais precisos torna-se importante avaliar as taxas de composição e geração utilizando apenas um método estimativo em diferentes países, o que nem sempre é viável em função de suas peculiaridades culturais e sociais.

## Referências

- AL-JARALLAH, R.; ALEISA, E. A baseline study characterizing the municipal solid waste in the State of Kuwait. **Waste Management**, v. 34, n. 5, p. 952-960, mai. 2014.
- ASASE, M.; YANFUL, E. K.; MENSAH, M.; STANFORD, J.; AMPOSAH, S. Comparison of municipal solid waste management systems in Canada and Ghana: a case study of the cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana. **Waste Management**, v. 29, n. 10, p. 2779-2786, out. 2009.
- ASTM INTERNATIONAL. **D 5231-92**: Standard test method for determination of the composition of unprocessed municipal solid waste. West Conshohocken, PA, EUA, 2008.
- BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: a review. **Waste Management**, v. 28, n. 1, p. 200-214, 2008.
- BENÍTEZ, S. O.; LOZANO-OLVERA, G.; MORELOS, R. A.; VEGA, C. A. de. Mathematical modeling to predict residential solid waste generation. **Waste Management**, v. 28, n. 1, p. S7-S13, 2008.
- BOER, E. den; JEDRCZAK, A.; KOWALKI, Z.; KULCZYCKA, J.; SZPADT, R. A review of municipal solid waste composition and quantities in Poland. **Journal of Environmental Management**, v. 30, n. 3, p. 369-377, mar. 2010.
- BURNLEY, S. J.; ELLIS, J. C.; FLOWERDEW, R.; POLL, A. J.; PROSSER, H. Assessing the composition of municipal solid waste in Wales. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 49, n. 3, p. 264-283, jan. 2007.
- CHANG, N.-B.; LIN, Y.T. An analysis of recycling impacts on solid waste generation by time series intervention modeling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 19, n. 3, p. 165-186, mar. 1997.
- DANGI, M. B.; PRETZ, C. R.; URYNOWICZ, M. A.; GEROW, K. G.; REDDY, J. M. Municipal solid waste generation in Kathmandu, Nepal. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 1, p. 240-249, jan. 2011.
- DANGI, M. B.; URYNOWICZ, M. A.; BELBASE, S. Characterization, generation, and management of household solid waste in Tulsipur, Nepal. **Habitat International**, v. 40, p. 65-72, out. 2013.
- DASKALOPOULOS, E.; BADR, O.; PROBERT, S. D. Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 24, n. 2, p. 155-166, nov. 1998.
- DYSON, B.; CHANG, Ni-Bin. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. **Waste Management**, v. 25, n. 7, p. 669-679, 2005.
- FOROUHAR, A.; HRISTOVSKI, K. D. Characterization of the municipal solid waste stream in Kabul, Afghanistan. **Habitat International**, v. 36, n. 3, p. 406-413, jul. 2012.
- IBIEBELE, D. D. Rapid method for estimating solid wastes generation rate in developing countries. **Waste Management & Research**, v. 4, n. 4, p. 361-365, dez. 1986.
- KESER, S.; DUZGUN, S.; AKSOY, A. Application of spatial and non-spatial data analysis in determination of the factors that impact municipal solid waste generation rates in Turkey. **Waste Management**, v. 32, n. 3, p. 359-371, mar. 2012.
- KOLLIKATHARA, N.; FENG, H.; YU, D. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2194-2203, nov. 2010.
- LEBERSORGER, S.; BEIGL, P. Municipal solid waste generation in municipalities: quantifying impacts of household structure, commercial waste and domestic fuel. **Waste Management**, v. 31, n. 9-10, p. 1907-1915, set-out. 2011.
- LEBERSORGER, S.; SCHNEIDER, F. Discussion on the methodology for determining food waste in household waste composition studies. **Waste Management**, v. 31, n. 9-10, p. 1924-1933, set-out. 2011.
- LI, Z.-S.; FU, H.-Z.; QU, X.-Y. Estimating municipal solid waste generation by different activities and various resident groups: A case study of Beijing. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 20, p. 4406-4414, set. 2011.

- LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Analysis of the potential of municipal solid waste in Brazil. **Environmental Development**, v. 4, p. 105-113, out. 2012.
- LISA, D.; ANDERS, L. Methods for household waste composition studies. **Waste Management**, v. 28, n. 7, p. 1100-1112, 2008.
- MATEU-SBERT, J.; RICCI-CABELLO, I.; VILLALONGA-OLIVES, E.; CABEZA-IRIGOYEN, E. The impact of tourism on municipal solid waste generation: the case of Menorca Island (Spain). **Waste Management**, v. 33, n. 12, p. 2589-2593, dez. 2013.
- MBIBA, B. Urban solid waste characteristics and household appetite for separation at source in Eastern and Southern Africa. **Habitat International**, v. 43, p. 152-162, jul. 2014.
- OGWUELEKA, T. C. Survey of household waste composition and quantities in Abuja, Nigeria. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 77, p. 52-60, ago. 2013.
- PAPPU, A.; SAXENA, M.; ASOLEKAR, S. R. Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. **Building and Environment**, v. 42, n. 6, p. 2311-2320, jun. 2007.
- PHILIPPE, F.; CULOT, M. Household solid waste generation and characteristics in Cape Haitian city, Republic of Haiti. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 2, p. 73-78, dez. 2009.
- QU, X.-Y.; LI, Z.-S.; XIE, X.-Y.; SUI, Y.-M.; YANG, L.; CHEN, Y. Survey of composition and generation rate of household wastes in Beijing, China. **Waste Management**, v. 29, n. 10, p. 2618-2624, out. 2009.
- RHYNER, C. R. Monthly variations in solid waste generation. **Waste Management & Research**, v. 10, n. 1, p. 67-71, fev. 1992.
- RHYNER, C. R.; GREEN, B. D. The predictive accuracy of published solid waste generation factors. **Waste Management & Research**, v. 6, n. 4, p. 329-338, dez. 1988.
- SLAGSTAD, H.; BRATTEBØ, H. Influence of assumptions about household waste composition in waste management LCAs. **Waste Management**, v. 33, n. 1, p. 212-219, jan. 2013.
- SOKKA, L.; ANTIKAINEN, R.; KAUPPI, P. E. Municipal solid waste production and composition in Finland – changes in the period 1960–2002 and prospects until 2020. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 50, n. 4, p. 475-488, jun. 2007.
- THANH, N. P.; MATSUI, Y.; FUJIWARA, T. Household solid waste generation and characteristic in a Mekong Delta city, Vietnam. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 11, p. 2307-2321, nov. 2010.
- YU, C.-C.; MACLAREN, V. A comparison of two waste stream quantification and characterization methodologies. **Waste Management & Research**, v. 13, n. 4, p. 343-361, ago. 1995.