



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL  
-MESTRADO-

# ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

por

FABIANA LIMA ONOFRE

**Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para a  
obtenção do grau de Mestre**

João Pessoa – Paraíba

Março – 2011



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL  
-MESTRADO-

## ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários a obtenção do título de Mestre.

*Fabiana Lima Onofre*

ORIENTADOR: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior

João Pessoa – Paraíba

Março - 2011

Aos meus pais, Waldir e Rosane, os quais em nenhum momento mediram esforços para a realização dos meus sonhos.

Dedico.

**“ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES”**

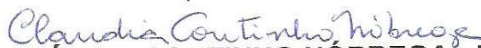
**FABIANA LIMA ONOFRE**

Dissertação aprovada em 31 de março de 2011

Período Letivo: 2010.2



Prof. Dr. **GILSON BARBOSA ATHAYDE JÚNIOR** – UFPB  
Orientador



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. **CLÁUDIA COUTINHO NOBREGA** - UFPB  
Examinador Interno



Prof. Dr. **VALDERI DUARTE LEITE** – UEPB/CG  
Examinador Externo

João Pessoa-PB  
2011

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, a quem sou imensamente grata por tantas bênçãos em minha vida e a quem devo todas minhas vitórias.

Aos meus pais, Waldir e Rosane, e minhas irmãs, Roberta e Raíssa, pela união, amor e carinho, por sempre terem sido presentes em minha vida, por acreditarem em mim e me passarem segurança.

A meu orientador, Prof. Gilson, que desde a minha graduação trouxe contribuições imensuráveis ao meu aprendizado, pela confiança depositada em mim, por ser sempre tão prestativo e, principalmente, por ter sido o responsável por despertar em mim a vontade de fazer Mestrado.

A Aldine, minha grande amiga, que sempre me incentivou e me ensinou a fazer boas escolhas.

A todos que permitiram a realização deste trabalho em suas residências, em especial a Gisele e Germana, minhas amigas de infância, e a Maria Manuela.

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

## Resumo

Há muito tempo, os resíduos não eram vistos como um problema, pois ele era gerado em menor quantidade e sua maior parte era constituída por materiais biodegradáveis, facilmente transformados pela natureza. No entanto, a população vem crescendo bastante, migrando da área rural para as cidades, seus hábitos vêm mudando, aumentando o consumo de produtos industrializados, e com isso passou a existir nos resíduos as embalagens longa vida, sacos plásticos, isopor, latas, dentre outros materiais, os quais demoram para ser degradados. Esse aumento na quantidade de resíduos sólidos vem causando graves transtornos para as cidades, pois grande parte delas não consegue dar uma destinação final adequada aos mesmos, devido a diversos fatores, tais como: o custo elevado para a coleta dos resíduos, a falta de locais apropriados para a construção de aterros sanitários, bem como o alto valor necessário para a manutenção desses aterros, entre outros. Para a execução dos serviços de limpeza pública, as Prefeituras costumam cobrar uma taxa, geralmente denominada TCR – Taxa de Coleta de Resíduos. Acontece que a cobrança da TCR é bastante questionada, principalmente por não ter por base de cálculo a quantidade de resíduos efetivamente gerada, mas sim, geralmente, a área do domicílio. Muitos consideram que esta forma de cobrança é injusta, uma vez que, nesta forma de cálculo, pode ocorrer de uma residência pagar uma elevada TCR só por ter uma área grande, apesar de poder gerar poucos resíduos. O presente trabalho busca encontrar um modelo matemático para se estimar a quantidade de RSD gerada em residências unifamiliares, a partir de diversos parâmetros, e com isso propor uma nova metodologia a ser adotada para o cálculo da TCR. Outra contribuição importante é o estudo da variação semanal de resíduos gerados, procurando verificar se há diferenças significativas entre as quantidades de resíduos geradas nos diversos dias da semana, o que pode ser útil no dimensionamento e otimização da frota de coleta. A metodologia adotada consistiu na pesagem dos resíduos sólidos domiciliares (RSD) diariamente e, logo em seguida, na medição dos consumos de água e energia elétrica, sendo estes verificados através do hidrômetro e do medidor de energia elétrica, respectivamente, em três residências na cidade de João Pessoa-PB. Os resultados mostraram que a taxa de geração de resíduos sólidos para residências unifamiliares na cidade de João Pessoa é de aproximadamente 800 g/hab.dia, valor este próximo ao sugerido pela literatura especializada. Comparando-se os resultados deste trabalho com o de Athayde Jr. et al. (2008), desenvolvido junto a edificações multifamiliares (edifícios de apartamentos), constatou-se que a taxa de geração per capita de RSD é maior (60% maior) em residências unifamiliares (casas) do que em edificações multifamiliares (apartamentos). Este fato pode estar relacionado à existência de jardins e quintais no primeiro tipo de residência, os quais não existem em apartamentos. Com relação à variação da taxa de geração de RSD, percebeu-se que não existem diferenças significativas entre a maioria dos dias da semana. As únicas exceções foram a segunda-feira, com tal taxa significativamente maior que os demais dias da semana (exceto o sábado), a do sábado, que foi significativamente maior daquela da terça-feira, e a do domingo, que foi significativamente menor que a dos demais dias da semana, exceto a da terça-feira. Por outro lado, como é comum não haver coleta de RSD no domingo, situação em que os resíduos gerados neste dia são coletados juntamente com os gerados na segunda-feira, a soma dos RSD gerados nestes dois dias é significativamente maior que as quantidades geradas nos demais dias da semana. Neste caso, justifica-se um reforço na frota de coleta na segunda-feira de 1,9 vezes a média dos outros dias. Os resultados mostraram ser possível estimar a quantidade de RSD gerados em um domicílio a partir de seus indicadores de consumo (água e energia elétrica). Dentre os indicadores estudados, apenas o consumo de água se mostrou satisfatório para este fim. Dessa forma, foi proposto um modelo matemático para estimativa da geração de RSD que teve como variável independente o consumo de água, além da população do domicílio. Com o modelo proposto foi possível elaborar uma metodologia alternativa para o cálculo da TCR, baseando-se não mais na área construída do domicílio, mas sim na quantidade estimada de RSD.

Palavras-chave: resíduos sólidos domiciliares; taxa de geração; taxa de coleta de resíduos

## ABSTRACT

A long time ago garbage was not seen as a problem, since it was generated in few quantities and most of it was composed of biodegradable materials, which were easily transformed by nature. However, population has been growing, moving from rural to urban area, its habits have been changing, including the consumption of industrialised products, and so that the amount and nature of garbage have been changing. This increase in the amount of garbage have been causing a large problem to the cities, since most of them does not succeed in giving proper final destination to the wastes, mainly because of the costs involved in the service. For the waste collection service, the municipality generally tax the population by means of the TCR – *Taxa de Coleta de Resíduos* (Waste Collection Tax). This TCR is very questioned, mainly because its base of calculation, that is not the amount of wastes generated, but generally the constructed area of the house. Many people consider unfair the tax, since it may happen that a house may be charged with a high tax value because of its large constructed area, but may not necessarily generate a large amount of waste. This study aims to elaborate a mathematical model to estimate de amount of solid wastes generated in a house and so, to propose an alternative methodology for the TCR calculation. Another aim of the study is to investigate the variations on the amount of wastes generated along the days of week, so that the collection fleet can be optimized. The methodological procedures consisted in diary weighting of the solids wastes, along with the readings of water and electricity consumption in three houses in the city of João Pessoa, northeast Brazil. Results have shown that the *per capita* domestic solid waste generation rate was 800 g/day, which is close to the value suggested in the literature. In comparison to other similar study but performed in flats rather than in houses, the generation rates herein reported were 60% higher in relation to that reported for flats, which may be associated with the fact that gardens and backyards, that occurs only in houses (not in flats), respond for part of such generation. With regards to the variations in the waste generation along the days of week, it was found that there were not significant differences between most the cases. The only exceptions were between Monday and the other days (exceptionally Saturday), between Saturday and Tuesday, and between Sunday and the other days, exceptionally to the Tuesday. By the other side, in João Pessoa very little of collection is done on Sunday, so that the mentioned difference is not important. For the case in which the wastes generated on Sunday are collected in conjunction with those generated on Monday, the amount totalizes 1,9 times those generated along the other days (in average) and so that the collection fleet must be increased by this factor (1,9). Results have also shown that it is possible to estimate the amount of solid wastes generated in a house from its population and water consumption. Based on this model, an alternative methodology for the TCR was proposed, which consider not the constructed area but the amount of wastes estimated.

Key-words: household solid waste; generation rate; waste collection tax

## LISTA DE FIGURAS

|           |                                                                                                                                                     |    |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | Evolução do crescimento da população mundial                                                                                                        | 21 |
| Figura 2  | Distribuição da geração de resíduos de acordo com a renda familiar nas regiões administrativas de São Paulo                                         | 24 |
| Figura 3  | Comparativo entre o aumento da taxa de geração de RSD <i>per capita</i> com o aumento da população                                                  | 28 |
| Figura 4  | Aumento do Fator de Enquadramento (Fe) em função do aumento da área construída do imóvel                                                            | 39 |
| Figura 5  | Container utilizado para medição remota da quantidade de resíduos                                                                                   | 40 |
| Figura 6  | Média aritmética da TGPCRSD para cada um dos quatro edifícios, bem como a média aritmética ponderada para o conjunto dos dados dos quatro edifícios | 48 |
| Figura 7  | Localização da cidade de João Pessoa                                                                                                                | 52 |
| Figura 8  | Localização das residências A, B e C na cidade de João Pessoa                                                                                       | 54 |
| Figura 9  | Ilustra a residência A, localizada no bairro 13 de Maio                                                                                             | 54 |
| Figura 10 | Ilustra a residência B, localizada no bairro 13 de Maio                                                                                             | 55 |
| Figura 11 | Ilustra a residência C, localizada no bairro Manaíra                                                                                                | 55 |
| Figura 12 | Balança utilizada para pesagem dos RSD das residências.                                                                                             | 56 |
| Figura 13 | Hidrômetro da residência A.                                                                                                                         | 56 |
| Figura 14 | Medidor de energia da residência A.                                                                                                                 | 56 |
| Figura 15 | Quantidade de RSD gerada na residência A – 1º período                                                                                               | 60 |
| Figura 16 | Quantidade de RSD gerada na residência A – 2º período                                                                                               | 61 |
| Figura 17 | Quantidade de RSD gerada na residência B                                                                                                            | 61 |
| Figura 18 | Quantidade de RSD gerada na residência C                                                                                                            | 61 |
| Figura 19 | Taxa de geração per capita de RSD na residência A – 1º período                                                                                      | 62 |
| Figura 20 | Taxa de geração per capita de RSD na residência A – 2º período                                                                                      | 62 |



|           |                                                                                                                                    |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 21 | Taxa de geração per capita de RSD na residência B                                                                                  | 63 |
| Figura 22 | Taxa de geração <i>per capita</i> de RSD na residência C                                                                           | 63 |
| Figura 23 | Média aritmética da taxa de geração <i>per capita</i> de RSD nas residências A, B e C e a média ponderada das 3 residências juntas | 64 |
| Figura 24 | Consumo diário de água na residência A – 1º período                                                                                | 66 |
| Figura 25 | Consumo diário de água na residência A – 2º período                                                                                | 66 |
| Figura 26 | Consumo diário de água na residência B                                                                                             | 66 |
| Figura 27 | Consumo diário de água na residência C                                                                                             | 67 |
| Figura 28 | Consumo <i>per capita</i> diário da residência A – 1º período                                                                      | 68 |
| Figura 29 | Consumo <i>per capita</i> diário da residência A – 2º período                                                                      | 68 |
| Figura 30 | Consumo <i>per capita</i> diário da residência B                                                                                   | 68 |
| Figura 31 | Consumo <i>per capita</i> diário da residência C                                                                                   | 69 |
| Figura 32 | Média aritmética do consumo de água <i>per capita</i> das residências A, B e C e média ponderada das 3 residências                 | 69 |
| Figura 33 | Consumo de energia elétrica na residência A, 1º período                                                                            | 71 |
| Figura 34 | Consumo de energia elétrica na residência A, 2º período                                                                            | 71 |
| Figura 35 | Consumo de energia elétrica na residência B                                                                                        | 71 |
| Figura 36 | Consumo de energia elétrica na residência C                                                                                        | 72 |
| Figura 37 | Consumo <i>per capita</i> de energia elétrica na residência A, 1º período                                                          | 73 |
| Figura 38 | Consumo <i>per capita</i> de energia elétrica na residência A, 2º período                                                          | 73 |
| Figura 39 | Consumo <i>per capita</i> de energia elétrica na residência B                                                                      | 73 |
| Figura 40 | Consumo <i>per capita</i> de energia elétrica na residência C                                                                      | 74 |
| Figura 41 | Consumo <i>per capita</i> de energia elétrica em cada residência e média ponderada do consumo nas 3 residências                    | 74 |
| Figura 42 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para a residência A                                                         | 76 |

|           |                                                                                                                                       |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 43 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para a residência B                                                            | 76 |
| Figura 44 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para a residência C                                                            | 77 |
| Figura 45 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para o conjunto de dados das residências A e B                                 | 77 |
| Figura 46 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de água para a residência A               | 79 |
| Figura 47 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de água para a residência B               | 79 |
| Figura 48 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de água para a residência C               | 80 |
| Figura 49 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de água para as residências A e B         | 80 |
| Figura 50 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência A                                              | 82 |
| Figura 51 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência B                                              | 82 |
| Figura 52 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência C                                              | 83 |
| Figura 53 | Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência A e B                                          | 83 |
| Figura 54 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de energia elétrica da residência A       | 85 |
| Figura 55 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de energia elétrica da residência B       | 85 |
| Figura 56 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de energia elétrica da residência C       | 86 |
| Figura 57 | Gráfico de dispersão para a taxa de geração <i>per capita</i> de RSD e o consumo per capita de energia elétrica das residências A e B | 86 |
| Figura 58 | Variação semanal da taxa de geração <i>per capita</i> de RSD na residência A                                                          | 94 |

|           |                                                                                                                                                        |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 59 | Variação semanal da taxa de geração <i>per capita</i> de RSD na residência B                                                                           | 94 |
| Figura 60 | Variação semanal da taxa de geração <i>per capita</i> de RSD nas residências A e B                                                                     | 94 |
| Figura 61 | Variação semanal da taxa de geração <i>per capita</i> de RSD para o conjunto de dados das residências A e B, somando-se os RSD da segunda e do domingo | 96 |

## LISTA DE TABELAS

|           |                                                                                                                                                                    |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1  | Taxa de geração de RSU de alguns países                                                                                                                            | 25 |
| Tabela 2  | Valores de coeficiente <i>per capita</i> de produção de resíduos sólidos domiciliares em função da população urbana                                                | 26 |
| Tabela 3  | Quantidade coletada de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) <i>per capita</i> em relação à população atendida com o serviço de coleta, segundo porte dos municípios | 27 |
| Tabela 4  | Cobrança pelos serviços regulares de limpeza urbana, segundo porte dos municípios                                                                                  | 29 |
| Tabela 5  | Fator de periodicidade de coleta                                                                                                                                   | 37 |
| Tabela 6  | Fator de distância do imóvel, calculado através do custo por tonelada para uma dada localidade                                                                     | 38 |
| Tabela 7  | Fator de utilização do imóvel                                                                                                                                      | 38 |
| Tabela 8  | Fator de Enquadramento do imóvel, de acordo com a área construída                                                                                                  | 39 |
| Tabela 9  | Correlação entre consumo de água x quantidade de RSD gerado por faixa de consumo                                                                                   | 43 |
| Tabela 10 | Valores obtidos pelo somatórios dos dados de água e RSD por faixa de consumo                                                                                       | 43 |
| Tabela 11 | Valores obtidos pelo somatórios dos dados de energia elétrica e RSD por faixa de consumo                                                                           | 44 |
| Tabela 12 | Valores obtidos pelo somatórios dos dados de área construída do imóvel e RSD por faixa de consumo                                                                  | 44 |
| Tabela 13 | Grupos selecionados com seu respectivo padrão sócio-econômico                                                                                                      | 45 |
| Tabela 14 | Síntese dos dados levantados                                                                                                                                       | 46 |
| Tabela 15 | Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD gerada e o consumo de água total (base diária)                                                           | 49 |
| Tabela 16 | Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD gerada e o consumo de água <i>per capita</i> (base diária)                                               | 49 |

|           |                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 17 | Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD e o consumo de energia elétrica total (base diária)                                                                                                                                        | 50 |
| Tabela 18 | Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD e o consumo de energia elétrica <i>per capita</i> (base diária)                                                                                                                            | 50 |
| Tabela 19 | Distribuição das classes sociais                                                                                                                                                                                                                     | 53 |
| Tabela 20 | Datas de início e fim da coleta de dados, e número de dias estudados                                                                                                                                                                                 | 57 |
| Tabela 21 | Interpretação referente ao coeficiente de correlação ( $r$ )                                                                                                                                                                                         | 58 |
| Tabela 22 | Média aritmética, mediana e moda da população de cada residência, bem como os valores médios da massa de RSD e o número de dias estudados ( $n$ )                                                                                                    | 59 |
| Tabela 23 | Valores mínimo e máximo de massa gerada por dia e da população na residência                                                                                                                                                                         | 60 |
| Tabela 24 | Consumo de água mínimo, máximo e médio para as residências A, B e C                                                                                                                                                                                  | 65 |
| Tabela 25 | Consumo de energia elétrica mínimo, máximo e médio para as residências A, B e C                                                                                                                                                                      | 70 |
| Tabela 26 | Coeficientes de correlação ( $r$ ), número de dias estudados ( $n$ ) e nível de significância estatística para as residências A, B e C, bem como para o conjunto de dados das residências A e B                                                      | 75 |
| Tabela 27 | Coeficientes de correlação entre a taxa de geração per capita de RSD e o consumo per capita de água, número de dias estudados ( $n$ ) e nível de significância para as residências A, B e C, bem como para o conjunto de dados das residências A e B | 78 |
| Tabela 28 | Coeficientes de correlação entre a massa de RSD e o consumo de energia elétrica (base diária), nível de significância estatística e número de dias estudados ( $n$ )                                                                                 | 81 |
| Tabela 29 | Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD per capita e o consumo per capita de energia elétrica, suas respectivas significâncias estatísticas e o número de dias estudados ( $n$ )                                                   | 84 |
| Tabela 30 | Coeficientes de regressão e respectivo coeficiente de determinação para estimativa da massa de RSD em valores absolutos                                                                                                                              | 88 |

|           |                                                                                                                                 |    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 31 | Coeficientes de regressão e respectivo coeficiente de determinação para estimativa da massa de RSD em valores <i>per capita</i> | 89 |
| Tabela 32 | Fator de Enquadramento do imóvel, de acordo com a quantidade de resíduos gerada                                                 | 91 |

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

EMLUR – Empresa Municipal de Limpeza Urbana

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FGV – Fundação Getúlio Vargas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT/CEMPRE – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial com a Reciclagem

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

NBR – Norma Brasileira

PMJP – Prefeitura Municipal de João Pessoa

RSD – Resíduos sólidos domiciliares RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

STF – Superior Tribunal Federal

TCR – Taxa de coleta de resíduos

TGPCRSD – Taxa de Geração *per capita* de Resíduos Sólidos Domiciliares

## SUMÁRIO

|           |                                                                               |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Introdução</b>                                                             | <b>18</b> |
| <b>2.</b> | <b>Objetivos</b>                                                              | <b>20</b> |
| 2.1       | Objetivos gerais                                                              | 20        |
| 2.2       | Objetivos específicos                                                         | 20        |
| <b>3.</b> | <b>Revisão de Literatura</b>                                                  | <b>21</b> |
| 3.1       | Definição e classificação dos resíduos sólidos                                | 22        |
| 3.2       | Geração de Resíduos Sólidos                                                   | 23        |
| 3.3       | Formas de cobrança pela coleta de RSD                                         | 28        |
| 3.3.1     | Cobrança da taxa de coleta de resíduos usando a mesma base de cálculo do IPTU | 29        |
| 3.3.2     | Cobrança da coleta de resíduos junto com a tarifa de água                     | 33        |
| 3.3.3     | Cobrança da TCR na cidade de João Pessoa                                      | 35        |
| 3.4       | Estimativa da geração de RSD                                                  | 40        |
| 3.4.1     | Correlação entre o RSD gerado e diferentes parâmetros de consumo              | 41        |
| <b>4.</b> | <b>Material e Métodos</b>                                                     | <b>52</b> |
| 4.1       | Delimitação da área de estudo                                                 | 52        |
| 4.2       | Etapas para o levantamento dos dados                                          | 53        |
| <b>5.</b> | <b>Resultados e Discussões</b>                                                | <b>59</b> |
| 5.1       | Geração de Resíduos Sólidos                                                   | 59        |
| 5.1.1     | Quantidade de RSD Gerada                                                      | 59        |
| 5.1.2     | Taxa de geração per capita de RSD                                             | 62        |
| 5.2       | Consumo de água                                                               | 65        |
| 5.2.1     | Quantidade de água consumida                                                  | 65        |
| 5.2.2     | Consumo <i>per capita</i> de água                                             | 68        |
| 5.3       | Consumo de Energia Elétrica                                                   | 70        |
| 5.3.1     | Energia Elétrica consumida                                                    | 70        |
| 5.3.2     | Consumo per capita de energia elétrica                                        | 73        |
| 5.4       | Correlação entre a geração de RSD e o consumo de água                         | 75        |



|       |                                                                                                 |           |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4.1 | Correlação entre a massa gerada de RSD e o consumo de água                                      | 75        |
| 5.4.2 | Correlação entre taxa de geração per capita de RSD e o consumo per capita de água               | 78        |
| 5.5   | Correlação entre a massa de RSD e o consumo de energia elétrica                                 | 81        |
| 5.5.1 | Correlação entre a massa gerada de RSD e o consumo de energia elétrica                          | 81        |
| 5.5.2 | Correlação entre a taxa de geração per capita de RSD e o consumo per capita de energia elétrica | 84        |
| 5.6   | Modelagem da Geração de RSD                                                                     | 87        |
| 5.6.1 | Análise dos dados em termos absolutos                                                           | 87        |
| 5.6.2 | Análise dos dados em termos <i>per capita</i>                                                   | 89        |
| 5.7   | Proposição de metodologia alternativa para o cálculo da TCR                                     | 90        |
| 5.8   | Variações da taxa de geração de RSD ao longo dos dias da semana                                 | 93        |
| 5.9   | Abrangência do trabalho e recomendações de pesquisas futuras                                    | 96        |
| <br>  |                                                                                                 |           |
| 6.    | <b>Conclusões</b>                                                                               | <b>97</b> |
| <br>  |                                                                                                 |           |
| 7.    | <b>Bibliografia</b>                                                                             | <b>98</b> |

## 1. Introdução

O presente trabalho trata de um assunto bastante em evidência nos dias atuais, qual seja, os resíduos sólidos, mais especificamente os resíduos sólidos domiciliares (RSD).

Dentre os resíduos sólidos urbanos, em geral existe uma predominância quantitativa dos domiciliares, que são aqueles que, segundo IPT/CEMPRE (2000), são originados da vida diária das residências, constituídos por restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais, revistas, garrafas, embalagens e uma grande diversidade de outros itens. Na cidade de João Pessoa, por exemplo, segundo levantamento feito pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana - EMLUR (NÓBREGA, 2003) os resíduos sólidos domiciliares constituem cerca de 70% dos resíduos coletados.

Como a geração de resíduos é inevitável, deve-se buscar alternativas que controlem os malefícios que estes resíduos podem vir a causar. Dentre esses malefícios, pode-se citar a poluição ambiental, que ocorre quando os resíduos são dispostos inadequadamente, poluindo os solos, as águas e o ar. As soluções devem ser buscadas e executadas em conjunto, com a contribuição tanto dos gestores quanto da população. Importante ressaltar que as concepções modernas de gerenciamento de resíduos sólidos levam em consideração a minimização da geração e a otimização.

Para a execução dos serviços de limpeza pública, as Prefeituras costumam cobrar uma taxa, geralmente denominada Taxa de Coleta de Resíduos-TCR. Acontece que a cobrança da TCR é bastante discutida, principalmente por não ter por base de cálculo a quantidade de resíduos efetivamente gerada, mas sim, geralmente, a área construída do domicílio. Muitos consideram que esta forma de cobrança é injusta, uma vez que, nesta forma de cálculo, muitas vezes pode ocorrer de uma residência pagar uma elevada taxa de coleta de resíduos só por ter uma área grande, apesar de poder gerar poucos resíduos.

Estudando-se a literatura sobre a geração de resíduos, observa-se que este é um tema que está começando a ser estudado por diversos pesquisadores do Brasil e do mundo. Percebe-se que um dos fatores que motiva o estudo deste tema é a busca por uma forma possível de se mensurar o quanto realmente a população de uma residência gera de resíduos. Pickin (2008) enfatiza que a idéia de cobrança pelos serviços de coleta de resíduos baseando-se na unidade de volume ou massa, além de outros fatores, tais como frequência de coleta, está se tornando cada vez mais popular.

Desta forma, o presente trabalho objetiva delinear um modelo matemático para se estimar a quantidade de resíduos gerada por uma residência, a partir de diversos parâmetros, e com isso propor uma nova metodologia a ser adotada no cálculo da TCR. Outra contribuição importante é o estudo da variação semanal de resíduos gerados, procurando verificar se há diferenças significativas entre as quantidades de resíduos produzidas nos diversos dias da semana, o que pode ser útil no dimensionamento e otimização da frota de coleta.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral:**

Delinear modelo a fim de estimar a taxa de geração de resíduos sólidos domiciliares através de parâmetros indicadores de utilização da unidade domiciliar, como, por exemplo, o consumo de água e de energia elétrica, além da população.

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Quantificar a produção de RSD, consumo de água e de energia elétrica em 3 residências da cidade de João Pessoa;
- Determinar da taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos domiciliares;
- Estudar a variação da geração de resíduos sólidos domiciliares em função dos dias da semana;
- Propor um modelo para a cobrança da Taxa de Coleta de Resíduos, que leve em consideração a quantidade de resíduos gerada.

### 3. Revisão de Literatura

Ao longo dos anos a população do planeta tem aumentado consideravelmente, conforme pode-se observar na Figura 1. Essa explosão demográfica reflete no aumento da demanda por matéria-prima e, por conseguinte, na maior geração de resíduos sólidos.

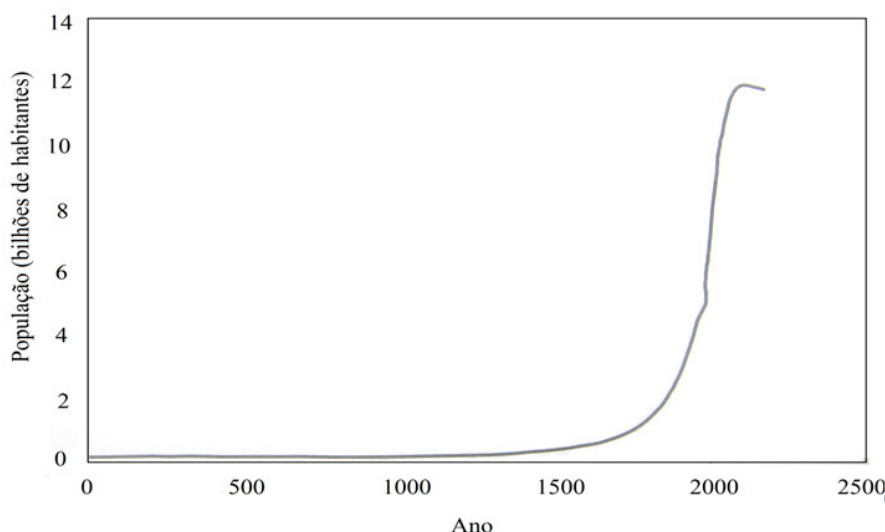


Figura 1: Evolução do crescimento da população mundial (*Nebel e Wright, 1993 apud Phillipi Jr et al., 2004*).

Há muito tempo, os resíduos não eram vistos como um problema, pois ele era gerado em menor quantidade e sua maior parte era composta por materiais biodegradáveis, facilmente transformados pela natureza. No entanto, a população cresceu bastante, migrou da área rural para as cidades, seus hábitos mudaram, passaram a consumir mais produtos industrializados e com isso passou a existir nos resíduos as embalagens longa vida, sacos plásticos, isopor, latas, dentre outros, materiais esses que demoram muito para serem degradados.

Esse aumento na quantidade de resíduos vem causando graves transtornos para as cidades, pois grande parte delas não consegue dar uma destinação final adequada a esses resíduos, devido a diversos fatores, tais como: o custo elevado para a coleta dos resíduos, a falta de locais apropriados para a construção de aterros sanitários, bem como o alto custo para a manutenção desses aterros, entre outros.

### 3.1. Definição e classificação dos resíduos sólidos

Os significado das palavras resíduo e lixo são bastante próximos e muitas vezes entende-se que ambos sejam sinônimos. Conforme mencionado por Phillipi Jr *et. al.* (2004), citando um dicionário da língua portuguesa:

- Resíduo: 1. Remanescente. 2. Aquilo que resta de qualquer substância; resto. 3. O resíduo que sofreu alteração de qualquer agente exterior, por processos químicos, físicos, etc.

- Lixo: 1. Aquilo que se varre da casa, do jardim, da rua e se joga fora; entulho. 2. Tudo o que não presta e se joga fora. 3. Sujeidade, sujeira, imundice. 4. Coisa ou coisas inúteis, velhas, sem valor.

A NBR 10004/2004 define resíduos sólidos como “resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT, 2004).

Dentre os resíduos, existem os resíduos sólidos (RS) que podem ser classificados, segundo a sua origem, em (IPT / CEMPRE, 1995):

a) domiciliar: aquele originado da vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (tais como, cascas de frutas, verduras, etc.), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis, dentre outros itens;

b) comercial: aquele originado dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviço, tais como, supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares, restaurantes, etc. Esse tipo de resíduos contém muito papel, plástico, embalagens

diversas e resíduos de asseio dos funcionários, como papel toalha, papel higiênico, dentre outros;

c) público: aquele originado dos serviços de limpeza pública urbana, incluindo os resíduos de varrição de vias públicas, limpeza de praias, galerias, terrenos e podas de árvores. Incluem-se também os resíduos provenientes da limpeza de feiras livres, constituídos por restos de vegetais diversos, embalagens, etc;

d) hospitalar: constituem os resíduos sépticos, ou seja, que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos;

e) industrial: aquele originado nos diversos ramos da indústria, como metalúrgica, química, papelaria, alimentícia, etc. A grande maioria dos resíduos considerados tóxico está presente nos resíduos provenientes das indústrias;

f) entulho (também conhecidos como Resíduos de Construção e Demolição - RCD): resíduos da construção civil como demolições e restos de obras. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento.

g) agrícola: resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária, como embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração, restos de colheita, etc;

Os resíduos sólidos das alíneas de “a” até “f” do tópico 3.1 são também denominados resíduos sólidos urbanos (RSU).

### **3.2. Geração de Resíduos Sólidos**

A quantidade de RSD é função primariamente do quantitativo populacional que a gera, mas também depende de outros fatores, tais como hábitos alimentares e de higiene, poder aquisitivo e nível de instrução da população, além do clima e conjuntura econômica (IPT/CEMPE, 1995).

Segundo Tchobanoglous *et al.* (1993), a primeira e uma das mais importantes etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos é a fase de geração, sendo definida

como etapa na qual se estuda e analisa a quantidade e composição dos resíduos, além de suas variações semanais. Dada a não uniformidade e heterogeneidade dos resíduos sólidos, em especial os domiciliares, esta etapa inicial de determinação da taxa de geração *per capita* e composição gravimétrica é de grande importância para dar suporte ao desenvolvimento das etapas seguintes do gerenciamento dos resíduos sólidos, tais como coleta, transporte, reciclagem e destinação final.

A geração *per capita* de resíduos sólidos é bastante variável, dependendo da renda, das condições locais, da época do ano e até de condições climáticas. A Figura 2 mostra a distribuição da geração de resíduos domiciliares de acordo com a renda familiar média de várias regiões da cidade de São Paulo. Na Figura 2, apesar de certa dispersão dos dados, pode-se considerar que com o aumento da renda na região ocorre aumento da geração de resíduos (PHILIPPI JR. *et al.*, 2004).

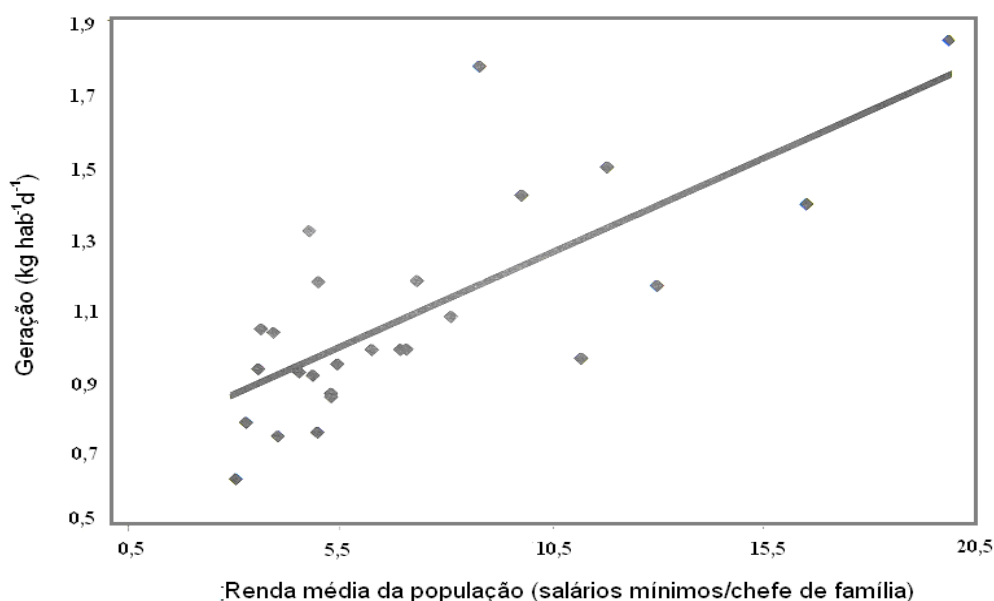


Figura 2: Distribuição da geração de resíduos de acordo com a renda familiar nas regiões administrativas de São Paulo (Tiveron, 2001, *apud* Phillip Jr. *et al.*, 2004).

Dangi *et al.* (2008) também reportaram dados que apontam para uma relação direta entre a taxa de geração *per capita* e o nível de renda da população.

Alsamawi *et al.* (2009) realizaram um trabalho em Bagdá, capital do Iraque, que fazia uma análise da taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos. Segundo os referidos autores, um método para estimar a quantidade de resíduos sólidos



gerado é contar com dados publicados para países com semelhantes indicadores socioeconômicos e, assim, obter a quantidade de resíduos *per capita* por dia. Estes autores afirmam ainda que a riqueza de uma população tem impacto direto sobre a taxa de geração de resíduos sólidos e sobre a composição e características físicas dos resíduos sólidos que são gerados, corroborando com os dados apresentados na Figura 2.

Quando o poder de consumo da população aumenta, a quantidade de resíduos também se eleva. Países em que as pessoas têm maior renda costumam jogar o excesso de comida, diferentemente de países de baixa renda onde as pessoas costumam guardar a sobra de comida para o próximo dia. Ademais, como com maior renda mais bens são adquiridos, conseqüentemente mais resíduos de embalagens são gerados (ALSAMAWI *et al.*, 2009).

A Tabela 1 mostra a taxa de geração de resíduos de alguns países, através da qual pode-se observar que a geração *per capita* de RSU é muito menor nos países em desenvolvimento que nos países desenvolvidos.

Tabela 1: Taxa de geração de RSU de alguns países.

| Países                                                                 | Bangladesh<br>(1999) | Paquistão<br>(2001) | Indonésia<br>(2001) | Tailândia<br>(2003) | Estados<br>Unidos da<br>América<br>(2002) |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------------|
| Massa de<br>resíduos gerada<br>(kg hab <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ) | 0.5                  | 0.6-0.8             | 0.8-1.0             | 1.6                 | 3.26                                      |

Fonte: Alsamawi *et al.* (2009)

Normalmente, países de baixa renda (países com renda *per capita* anual menor que US\$ 400) tem as menores taxas de geração de resíduos que vão de 0,1 a 0,5 kg hab<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Com o aumento da renda os resíduos vão aumentando e países de renda média (países com renda média *per capita* anual de US\$ 400 a US\$ 3.500) produzem de 0,5 a 1,1 kg hab<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Países de alta renda (países com renda média *per capita* anual superior a US\$ 3.500), por sua vez, tem a maior taxa de geração de resíduos, normalmente acima de 1,1 kg hab<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Isto é o que se pode observar na Tabela 3.1, em que os Estados Unidos da América é o país que mais gera resíduos,

tendo como taxa de geração *per capita* de RSD 3,26 kg. hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (ALSAMAWI et. al., 2009).

Um outro fator que apresenta relação com a taxa de geração *per capita* de RSD é o tamanho da população. Através de pesagens realizadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) em diversos municípios do Estado de São Paulo, foi possível concluir que se pode estimar a quantidade de resíduos *per capita* de uma região baseada na população do município. A Tabela 2 mostra os valores *per capita* da geração de resíduos sólidos em função da população urbana.

Tabela 2: Valores de coeficiente *per capita* de produção de resíduos sólidos domiciliares em função da população urbana.

| População<br>(em milhares de habitantes) | Produção de resíduos sólidos<br>(kg hab <sup>-1</sup> .d <sup>-1</sup> ) |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Até 100                                  | 0,4                                                                      |
| 100 a 200                                | 0,5                                                                      |
| 200 a 500                                | 0,6                                                                      |
| Maior que 500                            | 0,7                                                                      |

Fonte: Cetesb (2001) *apud* Phillipi Jr. et al. (2004).

Importante ressaltar que nesses valores são considerados apenas os resíduos de origem domiciliar, ou seja, aqueles gerados nas residências e no pequeno comércio; assim, não foram contabilizados os resíduos gerados na indústria, nas limpezas de vias públicas, em podas, nas limpezas de córregos e outros que frequentemente são enviados para o aterro sob uma classificação única de resíduos sólidos.

O Ministério das Cidades em sua sexta edição do “Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos”, divulgou dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. A população total da amostra estudada representa 53,2% da população total do Brasil, população esta pertencente a 418 municípios convidados (SNIS, 2007). Para fins da análise dos dados obtidos, neste diagnóstico os municípios foram agrupados em seis faixas de porte populacional (considerando a população total de cada município):

- Faixa 1 – até 30.000 habitantes;  
 Faixa 2 – de 30.001 até 100.000 habitantes;  
 Faixa 3 – de 100.001 a 250.000 habitantes;  
 Faixa 4 – de 250.001 a 1.000.000 habitantes;  
 Faixa 5 – de 1.000.001 a 3.000.000 habitantes;  
 Faixa 6 – mais de 3.000.000 de habitantes.

Conforme pode-se observar na Tabela 3, para os municípios com até 30.000 habitantes (faixa 1), a massa de RSD *per capita* foi de 0,53 kg.hab<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Já para os municípios com população superior a 3.000.000 de habitantes (faixa 6), a massa de RSD *per capita* foi de 0,83 kg hab<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. A média de geração de RSD foi de 0,73kg hab<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>. Segundo este diagnóstico, a taxa de geração *per capita* de RSD aumenta quanto maior for a população do município.

Tabela 3: Quantidade coletada de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) *per capita* em relação à população atendida com o serviço de coleta, segundo porte dos municípios.

| Faixa populacional | Quantidade de municípios | Massa de RSD coletada <i>per capita</i>          |                                                  |                                                 |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                    |                          | Mínimo (kg hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ) | Máximo (kg hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ) | Médio (kg hab <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> ) |
| 1                  | 46                       | 0,14                                             | 1,09                                             | 0,53                                            |
| 2                  | 35                       | 0,23                                             | 1,03                                             | 0,57                                            |
| 3                  | 29                       | 0,23                                             | 0,97                                             | 0,62                                            |
| 4                  | 35                       | 0,38                                             | 0,98                                             | 0,69                                            |
| 5                  | 11                       | 0,61                                             | 0,89                                             | 0,74                                            |
| 6                  | 2                        | 0,8                                              | 0,85                                             | 0,83                                            |
| Total              | 158                      | 0,14                                             | 1,09                                             | 0,73                                            |

Fonte: SNIS (2007)

Comparando-se os dados das Tabelas 2 e 3, obtém-se a Figura 3, a qual ilustra que tanto Philippi Jr.*et al.* (2004) quanto SNIS (2007) consideram que quanto maior a população de um local, maior a sua taxa de geração *per capita* de RSD.

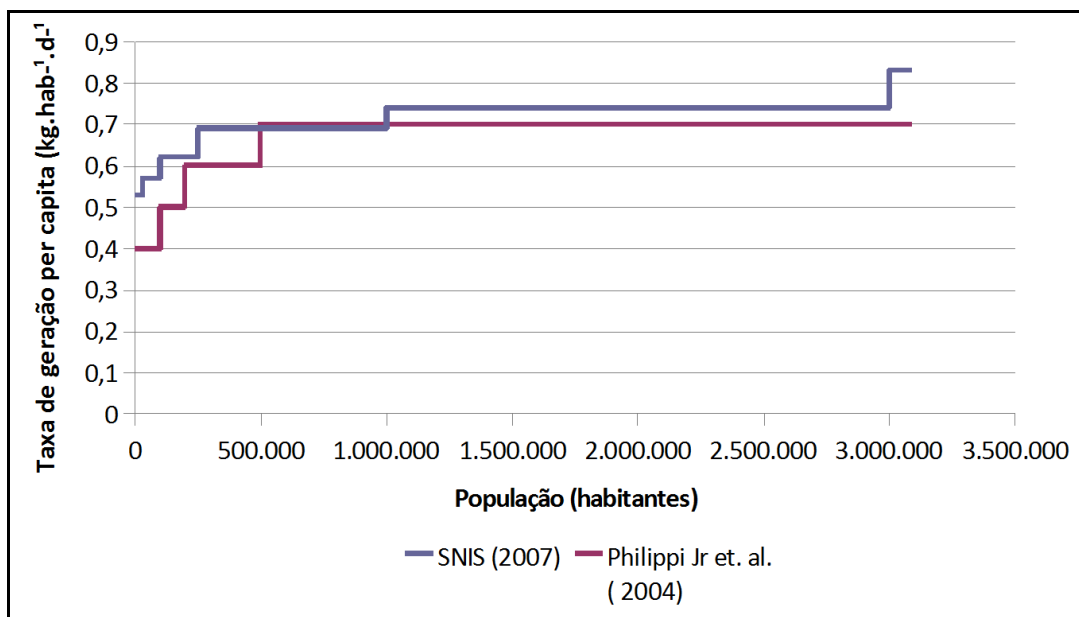


Figura 3: Comparativo entre o aumento da taxa de geração de RSD per capita com o aumento da população segundo Philippi Jr. et. al. e SNIS (2007).

Segundo Nóbrega (2003), a taxa de geração *per capita* de RSU na cidade de João Pessoa era de  $0,789 \text{ kg hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$  no ano de 2001. Como na cidade de João Pessoa, segundo o IBGE, a estimativa da população em 2009 era de 702.235 mil habitantes, considera-se que o resultado encontrado está de acordo com o sugerido pela literatura especializada.

### 3.3 Formas de cobrança pela coleta de RSD

De acordo com o “Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Domiciliares, 2007” (SNIS,2007), a cobrança pelos serviços ainda está longe de ser uma prática geral, uma vez que 44,8% dos municípios afirmaram não realizar cobrança pelos serviços regulares de limpeza urbana. Esta prática de não cobrar é mais presente nos municípios de menor população (Faixa 1 – até 30.000 habitantes), em que 58,2% deles responderam não cobrar pelos serviços. Observa-se que há um claro comportamento de diminuição da não cobrança com o aumento do porte dos municípios, à exceção da faixa 6 onde a presença de apenas 2 municípios – Rio de Janeiro e São Paulo – tem mantido esse índice estável nos últimos 2 anos, conforme pode-se observar na Tabela 4.

Tabela 4: Cobrança pelos serviços regulares de limpeza urbana, segundo porte dos municípios

| Faixa populacional | Quantidade de municípios | Há cobrança (%) | Não há cobrança (%) |
|--------------------|--------------------------|-----------------|---------------------|
| 1                  | 79                       | 41,8            | 58,2                |
| 2                  | 70                       | 50,0            | 50,0                |
| 3                  | 72                       | 63,9            | 36,1                |
| 4                  | 71                       | 64,8            | 35,2                |
| 5                  | 12                       | 66,7            | 33,3                |
| 6                  | 2                        | 50,0            | 50,0                |
| Total              | 306                      | 55,2            | 44,8                |

Fonte: SNIS (2007).

Quanto à forma de cobrança desses serviços regulares, a inserção de taxa específica no boleto do IPTU é a forma mais comum, alcançando 85,6% dos casos. Em seguida, figura a inserção da taxa específica no boleto de água com um indicador médio de 6,0%, seguido da incidência de boleto específico (4,2%) com uma incidência bem próxima da outra forma de cobrança, com 3,8%. Esta última incluindo, por exemplo, a cobrança junto ao boleto de energia elétrica (SNIS, 2007).

### **3.3.1 Cobrança da taxa de coleta de resíduos usando a mesma base de cálculo do IPTU**

O fato de a cobrança da TCR, em muitos casos, usar como parâmetro a mesma base de cálculo do IPTU, qual seja a área construída, tem levado a diversas divergências de opiniões acerca da sua constitucionalidade. Diversos advogados, juizes, ministros e até mesmo leigos já se pronunciaram acerca do tema.

Na realidade, a forma realmente justa seria os resíduos serem pesados sempre que coletado, e, ao final do mês, o valor cobrado por cada residência seria exatamente o que foi produzido. No entanto, essa forma é inviável, o que a torna utópica.

De início, a grande parte dos municípios cobrava a taxa de coleta de resíduos baseada na área construída, mas esta forma de cobrança passou a ser considerada injusta e alvo de muitas críticas. A hipótese de a cobrança pela área construída não ser justa se sustenta na medida em que nada garante que uma casa com uma área maior produza mais resíduos, visto que pode ocorrer de em uma casa grande morar apenas uma pessoa, enquanto que em uma casa pequena morar 5 pessoas. Neste caso, a pessoa que mora na casa grande pagaria mais pela taxa de coleta de resíduos, no entanto, possivelmente a casa que geraria mais resíduos seria a menor, onde moram 5 pessoas.

Outra forma de cobrança que se costumava utilizar era a baseada no metro de testada do imóvel, modelo que parece ser ainda mais injusto, visto que um prédio de inúmeros apartamentos e moradores pagará a mesma taxa de coleta de resíduos de uma casa que tenha o mesmo metro linear de testada, quando na verdade não tem como se comparar a quantidade de resíduos gerados entre um prédio e uma residência.

CARNEIRO (2003) questiona se a exigência da referida TCR estaria em conformidade com a atual Constituição Federal e com o Código Tributário Nacional. Segundo este mesmo autor, a CF/88, no seu art. 145, II, assevera que a taxa é o tributo exigido em razão do exercício do poder de polícia ou pela utilização, efetiva ou potencial, de serviços públicos específicos e divisíveis, prestados ao contribuinte ou postos a sua disposição. Nesse caso, a taxa deveria recair tão somente sobre os serviços públicos específicos e divisíveis, o que não é o caso da taxa de coleta de resíduos, pois até agora não foi encontrada forma de se dividir quantitativamente os resíduos que cada residência ou pessoa produz. No caso, na cobrança da taxa, o beneficiário do serviço deveria arcar exatamente com a quantia do serviço que auferiu, ou seja, pagar exatamente pelo resíduo que produziu, isto sim o tornaria divisível. O serviço de limpeza público trata-se, portanto, de serviço geral e indivisível, de utilização indistinta por toda a comunidade, devendo ser, assim, custeado inteiramente pela receita advinda dos impostos municipais exigidos por lei, e não cobrado dos proprietários de imóveis, o que constitui flagrante bitributação, instituto completamente vedado em nosso ordenamento jurídico. Carneiro ainda questiona como se pode afirmar que a taxa de coleta de resíduos é divisível se não

há sequer um padrão lógico e razoável para medir a quantidade de resíduos que cada imóvel ou residência produz em um mês, dia ou ano.

Ainda segundo Carneiro (2003), a taxa de coleta de resíduos calculada tendo como base a área do imóvel, que é justamente a mesma base do IPTU e possui como fato gerador a propriedade imobiliária, é inconstitucional, pois viola o art. 145, parágrafo 2º da constituição que versa sobre a impossibilidade da existência de taxas com a mesma base de cálculo de impostos. Outrossim, a aludida taxa municipal também fere legislação do Código Tributário Nacional, mais especificamente o parágrafo único do art. 77, que afirma não poder possuir a taxa base de cálculo ou fato gerador idênticos aos que correspondam a impostos. Outra irregularidade, segundo Carneiro (2003), é que a taxa de coleta de resíduos é cobrada do contribuinte no mesmo carnê do IPTU, em cobrança antecipada, o que torna irrazoável a exigência da mencionada taxa, uma vez que é totalmente impossível saber ao certo se determinado imóvel vai ou não produzir resíduos naquele exercício, e, se produzir, qual será exatamente a quantidade advinda. Assim, sua conclusão é que a Taxa de Limpeza Pública é inconstitucional.

Diante de tantas controvérsias sobre a legalidade ou não da cobrança da taxa de coleta de resíduos, o caso foi parar no Superior Tribunal Federal - STF, o qual admitiu legal a cobrança da taxa de limpeza baseada no tamanho do imóvel. No caso, o STF decidiu que o município de Campinas poderia cobrar taxas de coleta, remoção e destinação de resíduos, tendo por base de cálculo a metragem do imóvel, assim como já ocorre na cobrança do IPTU.

Nesta hipótese, a maioria dos ministros do STF teve o entendimento de que o serviço divisível pode levar em conta o tamanho do imóvel para referência do consumo, pois consideram a tese de que locais maiores abrigam mais pessoas, e, quanto mais gente, maior a produção de resíduos. No entanto, esse entendimento não foi unânime, alguns ministros (a minoria) foram contrários a cobrança baseada no tamanho do imóvel, interpretando como inconstitucional a taxa calculada a partir do tamanho do imóvel, pois seria característica de cobrança de imposto como o IPTU. Para os referidos ministros, o fato de um apartamento ou uma casa serem maiores não torna, necessariamente, a produção de resíduos daquela família maior.

Segundo eles, não raras as vezes a cobrança se torna uma ofensa ao princípio da razoabilidade porque, com frequência, há casas e apartamento grandes, mas habitados por poucas pessoas, e casas e apartamentos menores com mais moradores, segundo se pronunciou o ministro Ayres Brito. Para ele, a produção de resíduos não guarda conformidade com o tamanho do imóvel.

Devido a tantos casos parecidos acerca da constitucionalidade da cobrança da taxa de coleta de resíduos tendo como base a área construída, semelhante a base de cálculo do IPTU, o STF em fevereiro de 2010, resolveu editar uma nova súmula vinculante, nº 29, que trata sobre matéria tributária. A nova súmula vinculante foi encaminhada pelo Ministro Ricardo Lewandowski e faz referência a casos precedentes em que o Supremo admitiu a cobrança da taxa de limpeza baseada no tamanho do imóvel. O cerne do debate foi o artigo 145 que distingue taxa de impostos. Segundo o texto aprovado pela maioria dos ministros, é constitucional a adoção no cálculo do valor de taxa de um ou mais elementos da base de cálculo própria de determinado imposto, desde que não haja integral identidade.

Tendo em vista que a Suprema Corte, em outro momento e através da súmula vinculante nº 19, entendeu que os serviços públicos de coleta, remoção e tratamento ou destinação de resíduos provenientes de imóveis são específicos e divisíveis, a tributação desses serviços será por meio de taxa. Com relação à base de cálculo das taxas, não obstante a divergência de opiniões, predominou o entendimento de que não se pode utilizar todos os elementos; ou seja, não pode haver coincidência integral com a base de cálculo de um determinado tributo, mas pode-se pegar um ou outro elemento que sirva de adminículo para cobrar a taxa.

Depois da decisão do STF considerando legal a cobrança da taxa de coleta de resíduos tendo como base na área construída do imóvel, mais de 60 municípios brasileiros, que não utilizavam essa forma de cálculo da TCR, afirmaram que mudariam a forma de cobrança da taxa de coleta de resíduos. Em São José dos Campos, interior de São Paulo, por exemplo, a cobrança seria de R\$ 0,50 por metro quadrado para residência, R\$ 0,85 para comércio e R\$ 1,25 para indústria. Já A cidade de São Bernardo, no ABC Paulista, quer cobrar R\$ 1,80 por m<sup>2</sup> de área



construída em residência. Dos comerciais seriam cobrados R\$ 2,00. Nesse município, atualmente é cobrada taxa única de R\$ 246,00 para qualquer imóvel que recolha IPTU, não importando o tamanho (R7, 2009).

### **3.3.2 Cobrança da coleta de resíduos junto com a tarifa de água**

Devido às discussões acerca da forma de cálculo da TCR baseada na área construída do imóvel, surgiu um novo modelo de cobrança. Algumas prefeituras começaram a adotar a cobrança da taxa de coleta de resíduos juntamente com a fatura de água por considerar que essa forma de cobrança traria vantagens tanto para o município quanto para a população. Para as prefeituras, o benefício seria a diminuição da inadimplência, pois pela cobrança no carnê do IPTU a inadimplência era em torno de 40%, enquanto que a cobrança na fatura de água tem como inadimplência apenas 5% (GOVERNO DO PARANÁ, 2008). No entanto, a coordenadora institucional da Associação Brasileira de Defesa do Consumidor, Maria Inês Dolci, afirma em nota publicada no site do Ministério Público do Paraná, que o consumidor não pode ser onerado pela expectativa de inadimplência que se tem em relação ao IPTU. (MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ, 2009).

As prefeituras também consideram que para a população há a vantagem de pagar a taxa parcelada em 12 vezes. Ademais, alegam que o sistema seria mais justo, uma vez que parte do pressuposto de que quem consome mais água, produz mais resíduos (GOVERNO DO PARANÁ, 2008).

Apesar das prefeituras terem considerado que esse meio seria melhor para o consumidor, muitos moradores dos municípios onde o sistema foi implantado reclamavam que o valor mensal da taxa de coleta de resíduos cobrada junto com a fatura de água havia ficado mais caro do que o pagamento em taxa única, que estava sendo feito junto com o carnê do IPTU (MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ, 2009).

Só no Estado do Paraná, 58 municípios passaram a realizar a cobrança da taxa de coleta de resíduos juntamente com a fatura de água e esgoto. Em alguns

casos, a SANEPAR atuava apenas como um agente arrecadador para o município, ficando a Prefeitura responsável pelo valor da taxa e pelo gerenciamento do serviço de coleta de resíduos, em outros, o valor cobrado era feito pela referida SANEPAR, com base nos custos da Prefeitura com o serviço.

Em Curitiba, por exemplo, a taxa de coleta de resíduos também era cobrada junto com a conta de água. Lá, segundo a SANEPAR, os valores eram equivalentes ao consumo de água e custavam em média entre R\$ 4,70 e R\$ 10,00 por mês, sendo que mais de 80% da população pagaria entre R\$ 5,00 e R\$ 7,00 reais por mês (MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ, 2009).

Após essa forma de cobrança ser adotada, o Deputado Estadual Francisco Noroeste, conhecido como Francisco Noroeste, apresentou um projeto de lei contra essa medida, uma vez que ele a considerava inconstitucional. Segundo o deputado, esse convênio entre algumas prefeituras e a SANEPAR desrespeitava o artigo 39 do Código do Consumidor, que veda a cobrança de serviços sem anuência expressa. Para ele o fornecimento de água não poderia ficar atrelado à cobrança da taxa de coleta de resíduos, pois se o consumidor só tivesse dinheiro para pagar o serviço de água e esgoto, correria o risco de ficar sem o fornecimento de água.

Desta forma, o projeto de lei apresentado por Francisco Noroeste tinha o intuito de proibir a Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR de interromper o fornecimento dos serviços de água e esgoto, nos casos de não pagamento de faturas de água que tivessem atrelada a taxa de coleta de resíduos, caso eles não tivesse sido formalmente e antecipadamente autorizadas pelos consumidores. Ademais, neste projeto de lei, o consumidor que não desejasse a cobrança de outros serviços conjuntamente com a fatura de água e esgoto poderia requerer a exclusão a qualquer tempo, sendo, inclusive, facultado efetuar somente o pagamento dos valores de água e esgoto (JUSBRASIL, 2009).

Esse projeto de lei foi aceito pelo então Governador do Paraná, Roberto Requião, que, após assinar um Decreto Estadual, proibiu a SANEPAR de cobrar o serviço de coleta de resíduos na fatura de água. O decreto garantiu que esse tipo de cobrança em conjunto, praticada em 58 cidades do Paraná, ficasse proibida a partir de 2010, tendo o contrato de cobrança realizado entre as Prefeituras

e a SANEPAR que ser cessado até o final de 2009. Os serviços de coleta de resíduos sólidos deveriam, então, ser cobrados em faturas separadas.

Segundo Prux (2009) *apud* Ministério Público do Paraná (2009), o fornecimento de água e a taxa de coleta de resíduos na mesma fatura trata-se de exemplo de irregularidade, pois são serviços completamente diferentes. Esse autor considera isto uma forma de ameaçar e coagir o consumidor, vez que o torna pressionado a pagar pelos 2 serviços, pois, caso contrário, teria suspenso o fornecimento de água, um serviço essencial para a própria sobrevivência do usuário. O mesmo autor ainda ressalta que o Código do consumidor diz que não se pode atrelar dois serviços, seja para fornecer, seja para cobrar, ainda mais quando possuem natureza diversa, pois pode ocorrer de um dos serviços estar sendo fornecido normalmente e outro não. Portanto, este autor considera que a cobrança da taxa de coleta de resíduos junto com a conta de água só é legal se o consumidor autorizar expressamente. E, mesmo que tenha formalizado sua concordância, a ele é facultado adimplir apenas parte da conta que desejar.

### **3.3.3. Cobrança da TCR na cidade de João Pessoa**

Atualmente, na cidade de João Pessoa, a lei que regula a Taxa de Coleta de Resíduos – TCR é a Lei Complementar nº 16/98, de 29 de dezembro de 1998 (JOÃO PESSOA, 1998), a qual encontra-se resumida a seguir. Anualmente, para efeito de reajuste monetário, ocorrem alterações desta Lei, no que diz respeito ao Fator de Utilização do imóvel. A atualização vigente quando da redação desta dissertação é dada pela Lei Complementar 62/2010 (JOÃO PESSOA, 2010)

#### **LEI COMPLEMENTAR Nº 16/98, DE 29 DE DEZEMBRO DE 1998.**

Esta lei altera dispositivos da lei complementar nº 2/91, que institui o código tributário da cidade de João Pessoa, extingue a taxa de limpeza pública e cria a taxa de coleta de resíduos, além de dar outras providências.

Segundo esta lei, a Taxa de Coleta de Resíduos – TCR tem como fato gerador a utilização efetiva ou potencial dos serviços municipais de coleta,

transporte e destinação final dos resíduos sólidos, restados ao contribuinte ou postos a sua disposição.

Para fins desta Lei, são considerados serviço de coleta de resíduos a remoção periódica destes, quando gerados em imóvel edificado ou não, até o limite máximo de:

- I – cem litros/dia para coleta de resíduos domiciliares;
- II – cento e cinquenta litros/dia para coleta de resíduos de serviço;
- III – duzentos litros/dia para coleta de resíduos comerciais;
- IV – até quinhentos litros/dia para coleta de resíduos industriais.

A coleta de resíduos em níveis superiores a estes considera-se especial, sujeitando-se a preço público. Também está sujeito a preço público a remoção ou retirada de resíduos hospitalares dos estabelecimentos geradores, em razão do que estabelece a Resolução nº 05/93, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, ratificada pela Lei Complementar nº 7, de 17 de agosto de 1995, e a de entulhos, detritos industriais, galhos de árvores e, ainda, a realizada em horário especial por solicitação do interessado.

A TCR é cobrada tomando-se por base de cálculo a estimativa oficial do custo total da coleta, transporte, destino final e administração de resíduos sólidos do exercício de sua cobrança, e será dividida, para fixação de seu valor, por grupos de consumidores categorizados.

Esses grupos, para fins de cobrança da TCR, serão formados a partir da aplicação de modelo matemático, através de fórmula de apuração de produção de resíduos, que levará em conta dados censitários e de consumo, incluindo benefícios e quantidades de utilização de serviços públicos postos a disposição dos contribuintes, pelo Município ou por outros entes estatais, produção do resíduo local, categoria do imóvel e dados de ocupação populacional por região do Município. Nas hipóteses de utilização diversificada do imóvel, será aplicado o maior fator de utilização do imóvel no cálculo da TCR.

O Poder Executivo Municipal publicará, até 31 de março de cada exercício:

- I – o custo total e seus elementos analíticos, da coleta de resíduos sólidos;
- II – os valores pagos às empresas pelos serviços prestados, e o custo dos serviços executados pela Empresa de Limpeza Urbana – EMLUR;
- III - o número de contribuintes por bairro e por fator de utilização do imóvel (residencial, vaio urbano, comercial, serviços e industria) em tabela única;
- IV – idem por fator de enquadramento do imóvel;
- V – idem por fator de periodicidade da coleta;
- VI – idem por distância do imóvel;
- VII – os valores lançados por fator de utilização do imóvel separados por bairro.

O transporte e a destinação final dos resíduos em desacordo com o Regulamento de Limpeza Urbana e as normas disciplinares a matéria sujeitará o infrator às penalidades previstas na legislação de regência, nesta incluída a que trata dos crimes ambientais e de recomposição dos danos causados de qualquer natureza, sem prejuízo da responsabilidade civil e criminal.

A TCR na cidade de João Pessoa é calculada conforme a Equação 1:

$$TCR = \{[(F_p + F_d) \times U_i] \times F_e\} \times 12, \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

F<sub>p</sub> - Fator de Periodicidade da Coleta;

F<sub>d</sub> - Fator Distância do Imóvel;

U<sub>i</sub> - Fator de Utilização do Imóvel, subdividido em residencial, comercial, serviço, industrial e vazio urbano;

F<sub>e</sub> - Fator de Enquadramento do Imóvel, em razão da sua produção de resíduos;

12 – Número de meses do ano.

Como Fator de Periodicidade serão aplicadas as constantes contidas na Tabela 5:  
Tabela 5: Fator de periodicidade de coleta.

| Periodicidade de coleta | Fator de Periodicidade |
|-------------------------|------------------------|
| Coletas alternadas      | 0,75                   |
| Coletas diárias         | 1,50                   |

Fonte: Lei complementar nº 16/1998.

Como Fator distância do imóvel são aplicados os índices da Tabela 6:

Tabela 6: Fator de distância do imóvel, calculado através do custo por tonelada para uma dada localidade.

| Custo da coleta por tonelada (R\$) | Fator de distância |
|------------------------------------|--------------------|
| R\$ 35,70                          | 1,395              |
| R\$ 37,98                          | 1,476              |
| R\$ 40,75                          | 1,518              |
| > R\$ 40,75                        | 2,034              |

Fonte: Lei complementar nº 16/1998.

Como Fator de Utilização são aplicados os índices da Tabela 7.

Tabela 7: Fator de utilização do imóvel.

| Tipo de utilização do imóvel                                           | Fator de utilização do imóvel |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Residencial                                                            | 1,5446                        |
| Residencial com coleta seletiva                                        | 1,4674                        |
| Industrial                                                             | 4,6999                        |
| Industrial com coleta seletiva                                         | 4,4649                        |
| Vazio urbano murado                                                    | 1,5776                        |
| Vazio urbano não-murado                                                | 2,3664                        |
| Demais atividades sem produção de resíduo orgânico                     | 5,0417                        |
| Demais atividades sem produção de resíduo orgânico com coleta seletiva | 4,7898                        |
| Demais atividades com produção de resíduo orgânico                     | 7,2656                        |
| Demais atividades com Produção de resíduo orgânico com coleta seletiva | 6,9022                        |

Fonte: Lei complementar nº 62/2010

Como Fator de Enquadramento será utilizado o índice Fe, o qual é calculado de acordo com o m<sup>2</sup> edificado do imóvel, conforme pode-se observar na Tabela 8.

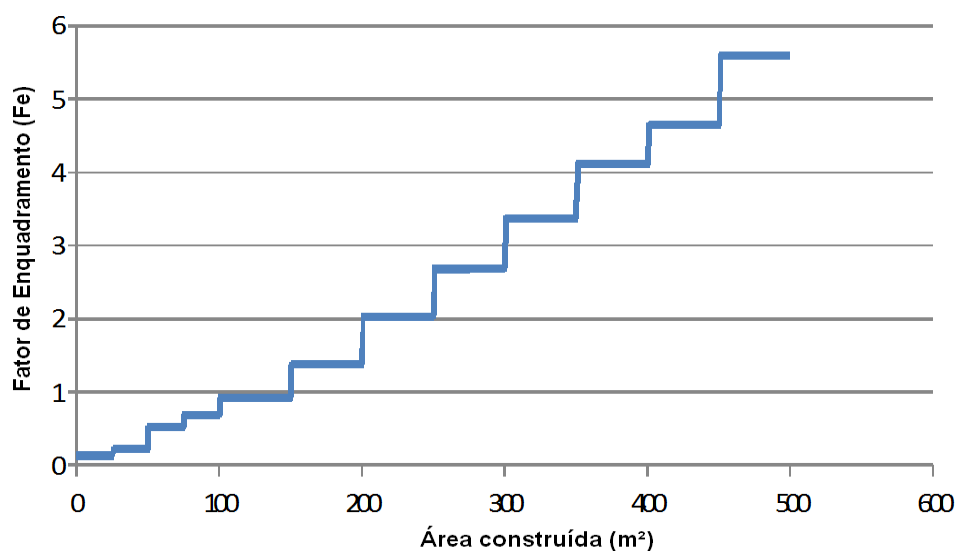
Tabela 8: Fator de Enquadramento do imóvel, de acordo com a área construída.

|    | Área em m <sup>2</sup> | Fe     |
|----|------------------------|--------|
| De | 0,01 a 25,00           | 0,1290 |
| De | 26,00 a 50,00          | 0,2166 |
| De | 51,00 a 75,00          | 0,5314 |
| De | 76,00 a 100,00         | 0,6924 |
| De | 101,00 a 150,00        | 0,9279 |
| De | 151,00 a 200,00        | 1,3754 |
| De | 201,00 a 250,00        | 2,0359 |
| De | 251,00 a 300,00        | 2,6869 |
| De | 301,00 a 350,00        | 3,3698 |
| De | 351,00 a 400,00        | 4,1084 |
| De | 401,00 a 450,00        | 4,6352 |
| De | 451,00 a 500,00        | 5,5857 |

Fonte: Lei complementar nº 16/98

Acima de 500 m<sup>2</sup> e para cada 100 m<sup>2</sup> que exceder este limite, será acrescido em 0,82 o índice *Fe*.

Percebe-se que o fator *Fe* (Fator de enquadramento do imóvel em função de sua produção de resíduos) é uma função da área do domicílio e que quanto maior a área, maior o *Fe* e, conseqüentemente, maior a TCR. A Figura 4 ilustra o aumento do *Fe* em função do aumento da área construída da residência.

Figura 4: Aumento do *Fe* em função do aumento da área construída do imóvel.

### 3.4 Estimativa da geração de RSD

A estimativa da geração dos resíduos é importante não só para efeito de cobrança da taxa de coleta, mas também para otimização deste serviço, conforme enfatizado por Vincentini *et al.* (2009), que propuseram um container “inteligente” que dotado de sensores e de dispositivos de leitura remota é capaz de informar a quantidade de resíduos no container (Figura 5). Apesar de interessante, não foi mencionado no artigo aspectos de custos e viabilidade econômica.



Figura 5: Container utilizado para informar a quantidade de resíduos (Vincentini *et al.*, 2009).

Vijay *et al.* (2005) propuseram uma metodologia, baseada em um SIG, para estimativa da quantidade de resíduos sólidos gerado por uma dada população, dispostos em coletores públicos, com base na densidade populacional e na renda desta população. Apesar de os autores terem considerado a metodologia adequada e precisa, eles não mencionaram nenhum modelo matemático resultante do estudo.



### **3.4.1. Correlação entre o RSD gerado e diferentes parâmetros de consumo**

Slomp (1999) retrata o caso do município de União da Vitória, situado no extremo sul do Paraná, onde surgiu a idéia de se cobrar a taxa de coleta de resíduos de uma forma diferente. Ocorreu que a inadimplência do pagamento do IPTU era muito alta e, como a taxa de coleta de resíduos era cobrada anualmente, juntamente com o IPTU, a mesma também era afetada por esta inadimplência. A possível solução seria uma forma de arrecadar a taxa de coleta de resíduos mensalmente, visto que o pagamento da empresa responsável pelo serviço de coleta era mensal. A intenção da Prefeitura era fazer uma parceria com a Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR para a que a taxa de coleta de resíduos passasse a ser cobrada juntamente com a fatura de água. Essa alternativa seria viável tanto para a Prefeitura, que diminuiria a inadimplência e arrecadaria a taxa mensalmente, quanto para a SANEPAR que receberia R\$ 0,35 por economia, reduzindo, desta forma, o seu custo de cobrança. Assim, em dezembro de 1997 o convênio foi firmado.

A taxa de coleta de resíduos tinha como base de cálculo a área construída do imóvel, na proporção de R\$0,31/m<sup>2</sup>, mas, como o tempo para que fossem compatibilizados os dados da SANEPAR com os da Prefeitura era curto, pensou-se na possibilidade de se usar uma base de cálculo compatível com o Sistema da Sanepar, ou seja, cobrar a taxa de coleta de resíduos baseada no m<sup>3</sup> de água consumida.

O que levou a Prefeitura de União da Vitória-PR a adotar o m<sup>3</sup> foi a suposição de que há uma proporcionalidade entre a quantidade de água consumida e a quantidade de resíduos gerados, na medida em que mais pessoas consomem mais água, assim como também produzem mais resíduos. Mas, para tanto, seria preciso comprovar que esta relação, de fato, existe, uma vez que, possivelmente, outros fatores como hábitos e poder aquisitivo também devem influenciar (SLOMP, 1999).

Importante ressaltar que, ainda que após pesquisas se comprove essa correlação da produção de resíduos com o consumo de água, haverá exceções, como nos casos de lavanderias de roupas, lava-jatos, etc, mas isso representaria um número muito pequeno de casos.

Outro trabalho relevante neste tema é o de Leite (2006) que trata de uma análise crítica da taxa de coleta de resíduos domiciliares. Este trabalho busca avaliar as formas de cobrança praticadas pelas administrações municipais, particularmente em municípios de médio e pequeno porte, para a realização dos serviços de coleta e destinação final de resíduos sólidos domiciliares urbanos, além de fazer uma análise sobre as possíveis falhas de cobrança em alguns casos. Ademais, realiza levantamento de dados no município de Taiaçu-SP, que conta com uma população da ordem de 6.000 habitantes (estimativa do IBGE 2005).

Neste trabalho, foram realizadas entrevistas através de formulários específicos em uma amostra de 210 domicílios urbanos, representando 14% dos domicílios do município, e conferindo um coeficiente de confiabilidade de 95%. Os dados coletados dizem respeito a uma média da quantidade de resíduos geradas mensalmente, do consumo de água e energia elétrica mensais, do número de pessoas que residem no local, bem como da área construída. O autor procurou a correlação existente entre os seguintes pares de dados: RSD x consumo de água, RSD x consumo de energia elétrica, RSD x área construída do imóvel.

Primeiro foi analisada a relação entre a média dos resíduos gerados mensalmente e a média da quantidade de água consumida mensalmente. Neste caso, considerou-se os dados referentes as 200 casas. Neste caso, o coeficiente de determinação obtido foi pequeno ( $r^2=0,0632$ ).

Devido à baixa correlação, estudou-se os dados por faixa de consumo, ou seja, dividiu-se o total de dados em 5 grupos, analisando-se cada grupo separadamente, da seguinte forma: residências com consumo de água entre 0 a 10m<sup>3</sup>, 10 a 20m<sup>3</sup>, 20 a 30m<sup>3</sup>, 30 a 40m<sup>3</sup> e 40 a 50m<sup>3</sup>. Neste caso, as correlações encontradas foram as mostradas na Tabela 9:

Tabela 9: Correlação entre consumo de água x quantidade de RSD gerado por faixa de consumo.

| Faixas de consumo de água das residências: | $r^2$ entre o consumo de água x quantidade de RSD gerada |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 0 a 10m <sup>3</sup>                       | $r^2 = 0,2182$                                           |
| 10 a 20m <sup>3</sup>                      | $r^2 = 0,0114$                                           |
| 20 a 30m <sup>3</sup>                      | $r^2 = 0,0538$                                           |
| 30 a 40m <sup>3</sup>                      | $r^2 = 0,1576$                                           |
| 40 a 50m <sup>3</sup>                      | $r^2 = 0,1170$                                           |

Fonte: LEITE, 2006.

Como mais uma vez a correlação não foi satisfatória, foi feito o somatório dos dados por faixa de consumo, ou seja, se na faixa de consumo de 0 a 10m<sup>3</sup> havia 40 das 200 residências estudadas, era feito o somatório total do RSD e do consumo de água dessas 40 residências, obtendo-se assim 1 ponto no gráfico. Os valores obtidos pelo somatório dos dados por faixa encontram-se na Tabela 10:

Tabela 10: Valores obtidos pelo somatório dos dados de água e RSD por faixa de consumo:

| Faixa de consumo (m <sup>3</sup> /mês) | Total por faixa        |          |
|----------------------------------------|------------------------|----------|
|                                        | Água (m <sup>3</sup> ) | RSD (kg) |
| 0 a 10                                 | 131,25                 | 1072,5   |
| 10 a 20                                | 1052,67                | 4001,25  |
| 20 a 30                                | 1736,85                | 4863,75  |
| 30 a 40                                | 479,5                  | 1102,5   |
| 40 a 50                                | 341,25                 | 562      |
| 50 a 60                                | 343,75                 | 333,75   |

Fonte: LEITE, 2006.

Neste caso, obteve-se 6 pontos no gráfico, gerando um elevado coeficiente de determinação ( $r^2=0,8916$ ).

Quando se estudou o consumo de energia elétrica, um bom coeficiente de correlação também só foi encontrado quando foi feito o somatório dos dados por faixa de consumo, conforme pode-se observar na Tabela 11:

Tabela 11: Valores obtidos pelo somatórios dos dados de energia elétrica e RSD por faixa de consumo:

| Faixa de consumo<br>(kWh/mês) | Total por faixa           |          |
|-------------------------------|---------------------------|----------|
|                               | Energia Elétrica<br>(kWh) | RSD (kg) |
| 0 a 100                       | 4135                      | 2617,5   |
| 100 a 200                     | 14714,45                  | 6142,5   |
| 200 a 300                     | 8392,25                   | 2399,5   |
| 300 a 400                     | 1890                      | 446,25   |
| Acima de 400                  | 1607,5                    | 330      |

Fonte: LEITE, 2006.

Fazendo-se a correlação entre esses dados, obteve-se um coeficiente de determinação de  $r^2=0,9103$ , sendo este, inclusive, maior que o coeficiente de correlação encontrado entre a geração de RSD e o consumo de água..

O terceiro caso estudado foi a relação entre a área construída e o RSD gerado. Da mesma forma que nos casos anteriores, foram estudadas 3 hipóteses, quais sejam: o  $r^2$  dos pares de dados das 200 residências; o  $r^2$  dos dados das residências separados por faixa de consumo e o  $r^2$  do somatório dos dados das residências por faixa de consumo. O terceiro caso, assim como no caso em que se estudou a correção do RSD com a água e a energia elétrica, foi o único em que se obteve um elevado coeficiente de correlação.

A Tabela 12 mostra o somatório dos valores obtidos por faixa de  $m^2$  de área construída, formando-se dessa forma 6 grupos, os quais posteriormente foram correlacionados a fim de se obter o  $R^2$ .

Tabela 12: Valores obtidos pelo somatórios dos dados de área construída do imóvel e RSD por faixa de consumo.

| Faixa de consumo<br>( $m^2$ ) | Total por faixa           |          |
|-------------------------------|---------------------------|----------|
|                               | Área construída ( $m^2$ ) | RSD (kg) |
| Até 50                        | 379,55                    | 723,75   |
| 50 a 100                      | 6316,10                   | 4530,00  |
| 100 a 150                     | 6860,77                   | 3401,25  |
| 150 a 200                     | 6797,44                   | 2264,50  |
| 200 a 250                     | 2312,90                   | 675,00   |
| 250 acima                     | 1728,70                   | 341,25   |

Fonte: LEITE, 2006.

Neste caso, o  $r^2$  encontrado foi de 0,7964, apresentando-se como o menor coeficiente de correlação dentre os outros parâmetros considerados. Vale salientar que a área construída do imóvel, cuja correlação com a massa de RSD foi a menor, é o parâmetro utilizado para a cobrança da taxa de coleta de resíduos na grande maioria dos municípios.

A conclusão a que chega Leite (2006) é que os dados estudados apresentam-se como viável de utilização, possibilitando seu uso quando da determinação da cota que cada residência deve assumir nos custos da coleta, transporte e destinação final dos RSD. Ainda segundo Leite (2006), há que se observar que por mais que se procure atingir todos os fatores responsáveis pela geração de resíduos domiciliares, existem situações particulares que se deve as divergências existentes junto a população estudada, como nível de renda, grau de instrução, atividade profissional, hábitos de consumo, etc.

Outro trabalho sobre o tema foi o de D'Ella (2000), que se trata de um trabalho em campo para buscar a comprovação da relação existente entre a utilização da água e geração de resíduos sólidos domiciliares. O estudo foi realizado no município de Mairinque-SP, com população aproximada de 50.000 habitantes, tendo os dados sido obtidos com uma maior facilidade devido ao fato de a empresa responsável pelo gerenciamento e execução dos serviços de limpeza pertencer ao mesmo grupo da responsável pelos serviços de água e esgoto.

Para a realização deste trabalho, a área de Mairinque foi segmentada em 10 grupos, a fim de que houvesse um melhor gerenciamento. Destes, escolheu-se 3 grupos, procurando-se que ficassem entre os selecionados grupos dos diversos padrões sócio-econômico, ou seja, um grupo de alto, um de médio e um de baixo padrão, conforme Tabela 3.13.

Tabela 13: Grupos selecionados com seu respectivo padrão sócio-econômico.

| Grupos | Padrão sócio-econômico |
|--------|------------------------|
| 5      | alto                   |
| 6      | médio                  |
| 8      | baixo                  |

Fonte: D'Ella, 2000.

Através da empresa responsável pela água e esgoto do município, obteve-se a utilização média de água nos meses de julho, agosto e setembro de 1998, bem como o número de economias de cada grupo. Realizou-se também a pesagem dos RSD de cada grupo separadamente. Os dados obtidos encontram-se na Tabela 14:

Tabela 14: Síntese dos dados levantados.

| Grupos | Geração mensal de resíduos (kg) | Utilização mensal de água (m³) | Nº de economias | Resíduos gerados por economia (kg) | Água consumida por economia (m³) | Índice relacional (kg/m³) |
|--------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 5      | 61468                           | 28182                          | 1087            | 56,55                              | 25,93                            | 2,18                      |
| 6      | 50245                           | 25567                          | 1380            | 36,41                              | 18,53                            | 1,96                      |
| 8      | 28708                           | 15277                          | 915             | 30,19                              | 16,06                            | 1,88                      |

Fonte: D'Ella, 2000.

Através da Tabela 14, D'Ella conclui que os índices relacionais obtidos na última coluna comprova a relação existente entre os resíduos gerados e a água consumida. Outra conclusão importante, e já esperada, a que se chega é que o grupo 05, o qual possui padrão sócio-econômico alto, é quem gera mais resíduos, seguido dos grupos 6 e 8 de padrões médio e baixo, respectivamente. Com este trabalho, D'Ella sugere a mudança da forma de cobrança, que poderia passar a ser feita da seguinte forma: quantifica-se o custo da coleta mensal e divide-se pela quantidade de água consumida mensalmente. Desta forma, obter-se-ia quantos reais se pagaria pela taxa de resíduos a cada m³ de água consumida.

Afon *et al.* (2007) desenvolveu um trabalho na cidade de Oyo, Nigéria, buscando estimar a quantidade de resíduos sólidos gerados naquela cidade, já que lá havia uma má gestão dos resíduos justamente como consequência da falta de informação sobre a quantidade de resíduos a ser coletada. Segundo o autor, um trabalho com informações acerca da quantidade de resíduos gerada se fazia necessário, vez que a cidade não possuía controle da coleta de resíduos, havendo pilhas de resíduos à espera de coleta em diferentes áreas residenciais, já que a infra-estrutura física para a coleta era obsoleta e inadequada em quantidade.

A pesquisa foi realizada entre julho de 2003 e junho de 2004. Para a realização do estudo, os autores coletaram algumas informações sobre o perfil sócio-econômico da população através de questionários. Foram avaliadas um total de 648 famílias e o perfil encontrado foi que 50,9% da população era de baixa renda e mais de 80% só tinha até o 2º grau de estudo. Em seguida, 2,5% da população entrevistada teve seus resíduos gerados medidos uma semana em cada um dos 12 meses, a fim de se obter informações nas diferentes estações do ano.

Após a análise dos dados, seis variáveis foram identificadas como variáveis independentes, quais sejam: renda familiar, tamanho da família, escolaridade, status social, profissão e época do ano. Foi feita a correlação de Pearson que indicou que cada uma desses parâmetros foi fortemente correlacionado com a variável geração de resíduos sólidos. O coeficiente de regressão múltipla foi  $r^2=0,888$ , significativo a 0,001 (AFON *et. al.*,2007).

Outras conclusões a que o autor chegou foi que a maior quantidade de geração de resíduos foi registrada em outubro (9,8%), período de chuva, e a menor em fevereiro (6,5%). A porcentagem de componentes orgânicos encontrada foi de 75,4%. O autor inclusive comenta que esse valor é próximo aos encontrados pro outros trabalhos realizados na Nigéria. A média *per capita* de geração de resíduos, no entanto, foi muito baixa quando comparada com a do Brasil, tendo sido de  $0,128\text{kg.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$ .

Athayde Júnior *et al.* (2007) estudou a taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos domiciliares (TGPCRSD) em bairros de classe média e alta da cidade de João Pessoa. Neste trabalho, a massa de RSD foi medida diariamente em quatro edifícios residenciais de classe média e alta da cidade de João Pessoa. Além da determinação da massa de RSD, foram levantados, também, diariamente, os consumos de água e energia elétrica nos edifícios, através de leituras nos hidrômetros e medidores de energia elétrica, além da população de cada edifício. A Figura 6 mostra a média aritmética da TGPCRSD, correspondente ao período estudado, para cada um dos quatro edifícios, bem como a média aritmética ponderada para o conjunto dos dados dos quatro edifícios. O ponto central corresponde à média e os extremos, aos limites 95% de confiança.

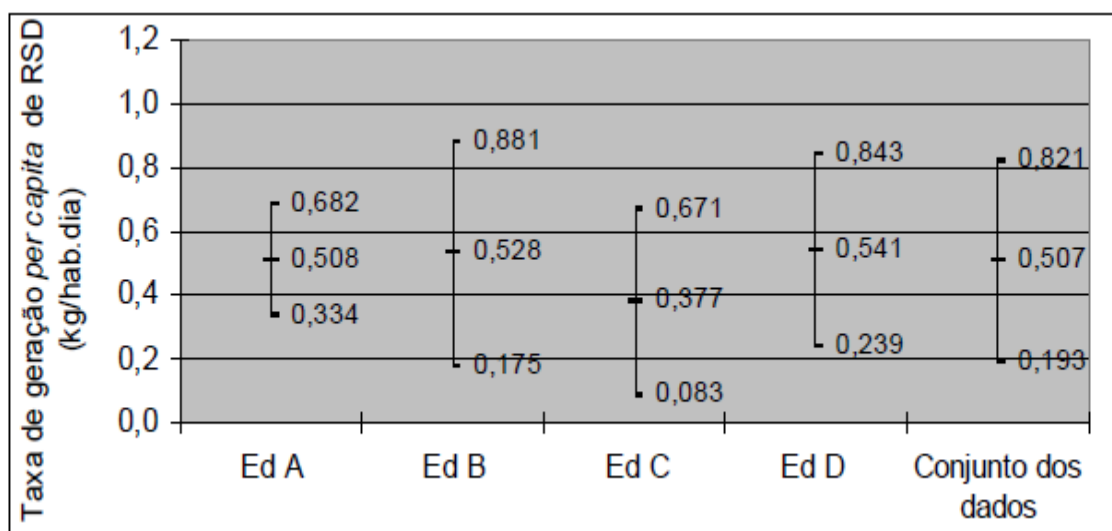


Figura 6: Média aritmética da TGPCRSD para cada um dos quatro edifícios, bem como a média aritmética ponderada para o conjunto dos dados dos quatro edifícios (Athayde Jr. *et al.*, 2007).

Como pode-se observar na Figura 6, o valor médio encontrado para a TGPCRSD foi de 0,507 kg/hab.dia. Os valores da TGPCRSD encontrados nos edifícios estudados foram, em todos os casos, menores do que os encontrados na bibliografia especializada.

Das medições de consumo de água e energia, obteve-se como consumo médio de água  $212,4 \text{ L.hab}^{-1}\text{d}^{-1}$  e como consumo de energia elétrica  $2,45 \text{ kwh.hab}^{-1}\text{d}^{-1}$ , ambos para o conjunto dos 4 edifícios.

Procurando-se avaliar se havia relação entre o consumo de água e a geração de RSD, ambos analisados diariamente, encontrou-se uma correlação moderada e estatisticamente significativa entre a massa de RSD gerada e o consumo de água. No edifício C, no entanto, essa correlação não se mostrou nem acentuada nem estatisticamente significante. Já quando se analisou o conjunto de dados dos quatro edifícios, o coeficiente de correlação ficou bem próximo de um ( $r=0,967$ ), o que significa uma correlação muito forte entre os parâmetros estudados.

As Tabelas 15 e 16 mostram os coeficientes de correlação entre o consumo de água e a massa de RSD gerada total e per capita, respectivamente.



Tabela 15: Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD gerada e o consumo de água total (base diária).

| Edifícios          | Coeficiente de correlação | Nível de significância estatística |
|--------------------|---------------------------|------------------------------------|
| A                  | 0,57                      | $\leq 0,001$                       |
| B                  | 0,62                      | $\leq 0,001$                       |
| C                  | 0,18                      | 0,15                               |
| D                  | 0,52                      | $\leq 0,001$                       |
| Conjunto dos dados | 0,97                      | $\leq 0,001$                       |

Fonte: Athayde Jr. *et al.*, 2007.

Tabela 16: Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD gerada e o consumo de água per capita (base diária).

| Edifícios          | Coeficiente de correlação | Nível de significância estatística |
|--------------------|---------------------------|------------------------------------|
| A                  | 0,58                      | $\leq 0,001$                       |
| B                  | 0,62                      | $\leq 0,001$                       |
| C                  | 0,19                      | 0,12                               |
| D                  | 0,5                       | $\leq 0,001$                       |
| Conjunto dos dados | 0,53                      | $\leq 0,001$                       |

Fonte: Athayde Jr. *et al.*, 2007.

Na análise da correlação entre a energia consumida e o RSD gerado, foram obtidos os coeficientes de correlação encontrados nas Tabelas 17 e 18, para os valores totais e per capita, respectivamente.

Tabela 17: Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD e o consumo de energia elétrica total (base diária).

| Edifícios          | Coeficiente de correlação | Nível de significância estatística |
|--------------------|---------------------------|------------------------------------|
| B                  | 0,19                      | 0,09                               |
| C                  | 0,11                      | 0,35                               |
| D                  | 0,43                      | $\leq 0,001$                       |
| Conjunto dos dados | 0,88                      | $\leq 0,001$                       |

Fonte: Athayde Jr. *et al.*, 2007.

Tabela 18: Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD e o consumo de energia elétrica per capita (base diária).

| Edifícios          | Coeficiente de correlação | Nível de significância estatística |
|--------------------|---------------------------|------------------------------------|
| B                  | 0,18                      | 0,11                               |
| C                  | 0,13                      | 0,3                                |
| D                  | 0,37                      | $\leq 0,001$                       |
| Conjunto dos dados | 0,13                      | $\leq 0,001$                       |

Fonte: Athayde Jr. *et al.*, 2007.

Ainda no trabalho de Athayde Jr. *et al.* (2007), na tentativa de se estabelecer um modelo para se estimar a massa de RSD, tanto em termos absolutos quanto *per capita*, procedeu-se a análise múltipla de regressão segundo o modelo *stepwise* (*stepwise multiple regression*). A massa de RSD foi a variável dependente, enquanto que a população (no caso da análise dos dados em termos absolutos), o consumo de água e o consumo de energia elétrica foram as variáveis independentes.

A partir da análise de regressão acima mencionada os autores concluíram que a massa de RSD gerada por uma população pode ser estimada a partir não apenas do tamanho da população, mas também do respectivo consumo de água. Apesar de o consumo de água ser também função da população, ele reflete a intensidade de uso da residência, incluindo o tempo de permanência de seus habitantes nela.

No geral, o consumo de energia elétrica não permaneceu no modelo matemático, pois o consumo *per capita* de água apresentou-se mais correlacionado com a TGPCRSD que o consumo *per capita* de energia elétrica. No caso do conjunto dos dados, o modelo não apresentou coeficiente de determinação próximo a um como no caso dos dados em termos absolutos (Athayde Jr. *et al.*, 2007).

Athayde Júnior *et al.* (2008) em outro trabalho sobre estimativa de geração de resíduos sólidos concluiu que é possível estimar a quantidade de RSD gerada a partir de indicadores de consumo do edifício, além da própria população. Dentre os indicadores de consumo estudados, (consumo de água e consumo de energia elétrica), apenas o consumo de água serviu para tal estimativa, com um coeficiente de determinação para o conjunto dos dados em termos absolutos próximo a 1. Estes mesmos autores propuseram o seguinte modelo matemático para a estimativa da quantidade de RSD gerado ( $r^2=0,939$ ):

$$\text{MRSD} = 0,0697 \text{ POP} + 2,28\text{CA} - 7,25, \text{ onde:} \quad (\text{Eq. 2})$$

MRSD: massa de resíduos sólidos domiciliares (kg/dia);

POP: população do edifício (habitantes);

CA: consumo de água ( $\text{m}^3/\text{dia}$ ).

No caso da análise em termos per capita, não foi incluída a população como variável independente. Da mesma forma que para os valores em termos absolutos, permaneceu no modelo matemático apenas o consumo per capita de água, uma vez que o consumo de energia elétrica não apresentou boa correlação. No caso do conjunto de dados em termos per capita, o modelo não apresentou coeficiente de determinação próximo a 1 ( $r^2=0,256$ ) como no caso dos dados em termos absolutos. O modelo matemático resultante neste caso foi:

$$\text{TGPCRSD} = 1,43\text{CPCA} + 0,168, \text{ onde} \quad (\text{Eq. 3})$$

TGPCRSD = taxa de geração *per capita* de resíduos sólidos domiciliares ( $\text{kg.hab}^{-1}\text{d}^{-1}$ ).

CPCA = consumo *per capita* de água ( $\text{m}^3\text{hab}^{-1}\text{d}^{-1}$ ).

## 4. Material e métodos

### 4.1 Delimitação da área de estudo

A pesquisa foi realizada na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, localizada na porção mais oriental do Estado, entre 08°07' de latitude Sul e 341°52' de longitude Oeste. Limita-se ao norte com o município de Cabedelo através do rio Jaguaribe; ao sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e, a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbaba e Paraíba, respectivamente (PMJP, 2010). A Figura 7 ilustra a localização da cidade de João Pessoa no mapa da Paraíba e, em tamanho menor, a localização da Paraíba no mapa do Brasil.

A cidade de João Pessoa possui uma área total de 210,45 km<sup>2</sup> (0,3% da superfície do Estado) e tem atualmente 64 bairros com uma área bruta de 160,76 km<sup>2</sup> e 49,69 km<sup>2</sup> de área verde e preservação ambiental. (PMJP, 2010) A população do município no ano de 2010 é de 723.514 habitantes (IBGE, 2010). Sua altitude média em relação ao nível do mar é de 37m. O clima da cidade é do tipo mediterrâneo ou nordestino seco, com temperaturas médias anuais de 26° C.

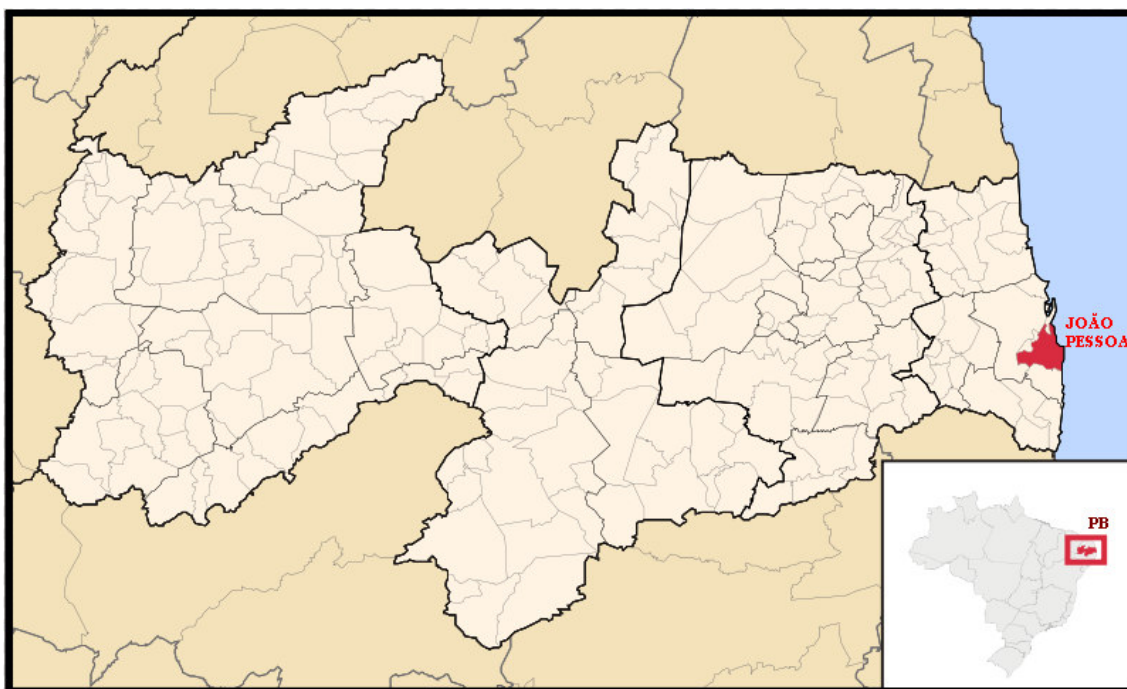


Figura 7: Ilustra a localização da cidade de João Pessoa (PMJP, 2011).

## 4.2 Etapas para o levantamento dos dados

Este trabalho dá continuidade ao trabalho de Athayde Júnior *et al.* (2007; 2008) em que foram estudados os resíduos sólidos domiciliares gerados em 121 domicílios, distribuídos em quatro condomínios verticais de bairros de classe média da cidade de João Pessoa.

Desta forma, esta pesquisa foi realizada em 3 residências, as quais possuem o mesmo padrão sócio-econômico que, segundo a classificação da FGV, são de classe A, ou seja, com renda familiar mensal superior a R\$ 4.087,00, conforme pode-se observar na Tabela 19.

Tabela 19: Distribuição das classes sociais:

| Classe | Classificação      | Renda                 |
|--------|--------------------|-----------------------|
| A/B    | Alta<br>Média-alta | Acima de R\$ 4.087,00 |
| C      | Média              | Até R\$ 4.807,00      |
| D      | Média-baixa        | Até 1.115,00          |
| E      | Baixa              | Até R\$ 768,00        |

As residências A e B se localizam no bairro 13 de Maio, enquanto que a residência C se localiza no bairro Manaíra (Figura 9).



Figura 8: Localização das residências A, B e C na cidade de João Pessoa (Google Maps, 2011).

As Figuras 09, 10 e 11: Apresentam a fachada das residências A, B e C, respectivamente.



Figura 09: Ilustra a residência A, localizada no bairro 13 de Maio.





Figura 10: Ilustra a residência B, localizada no bairro 13 de Maio.



Figura 11: Ilustra a residência C, localizada no bairro Manaíra.

A metodologia adotada consistiu na pesagem dos RSD diariamente através da balança ilustrada na Figura 12 e, logo em seguida, na medição dos consumos de água e energia elétrica, sendo estes verificados através do hidrômetro (Figura 13) e do medidor de energia elétrica (Figura 14), respectivamente.



Figura 12: Balança utilizada para pesagem dos RSD das residências A e B.



Figura 13: Hidrômetro da residência A.



Figura 14: Medidor de energia da residência A.



Estes dados foram levantados nas 3 residências já citadas, tendo o período de levantamento de dados sido de aproximadamente 180 dias para as residências A e B, e, para a residência C, de 38 dias, uma vez que houve imprevistos que impossibilitaram a continuação do levantamento dos dados nessa residência. Importante ressaltar que o foram estudadas 3 residências, 3 tendo em vista que se optou por pesagens diárias e por um longo período de aproximadamente 6 meses. A Tabela 20 apresenta as datas de início e final de coleta, além do número de dias estudados.

Tabela 20: Datas de início e fim da coleta de dados, e número de dias estudados.

| Residências    | Período de coleta de dados |            | Nº de dias estudados |
|----------------|----------------------------|------------|----------------------|
|                | Início                     | Fim        |                      |
| A (1º período) | 20/09/2007                 | 12/12/2007 | 84                   |
| A (2º período) | 18/05/2009                 | 14/08/2009 | 89                   |
| B              | 28/09/2009                 | 31/03/2010 | 185                  |
| C              | 06/01/2010                 | 12/02/2010 | 38                   |

Para a pesagem dos resíduos, nas residências A e B, foi utilizada uma balança Brião com capacidade de 15 kg e precisão de 0,01 kg. Para a residência C foi utilizada uma balança Filizola, com capacidade de 150 kg e precisão de 0,1 kg.

Procurava-se realizar as pesagens dos resíduos sempre no mesmo horário, a fim de que os resíduos pesados correspondessem a um período de 24h. No entanto, nos dias em que não era possível pesar os resíduos no horário pré-determinado, os respectivos valores eram corrigidos para um período base de 24 horas e os acréscimos ou decréscimos resultantes dessas correções eram compensados nas determinações do dia subsequente.

Para se obter o RSD e os consumos de água e energia elétrica *per capita*, nos mesmos dias de coleta de dados registrou-se o número de habitantes da residência. Dessa forma, posteriormente, na fase de análise dos dados, foi possível comparar tanto os valores absolutos quanto os em termos *per capita*.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de regressão múltipla segundo o modo *stepwise* (KINNEAR & GRAY, 1997) e assim pode-se chegar a uma equação para a estimativa da geração de resíduos.

Para a análise do coeficiente de correlação, foi adotada a classificação da Tabela 21, proposta por Shimakura (2006).

Tabela 21: Interpretação referente ao coeficiente de correlação (r):

| <b>Tipo de correlação</b> | <b>Valor de r</b> |
|---------------------------|-------------------|
| Bem fraca                 | 0,00 a 0,19       |
| Fraca                     | 0,20 a 0,39       |
| Moderada                  | 0,40 a 0,69       |
| Forte                     | 0,70 a 0,89       |
| Muito forte               | 0,90 a 1,00       |

Fonte: Shimakura (2006)

## 5. Resultados e discussões

A Tabela 22 apresenta a média aritmética, a mediana e a moda da população de cada residência, bem como os valores médios da massa de RSD e o número de dias estudados (n).

Tabela 22: Média aritmética, mediana e moda da população de cada residência, bem como os valores médios da massa de RSD e o número de dias estudados (n).

| Residência | Tendência central da população (hab.) |         |      | Massa de RSD gerada (kg/dia) (média aritmética) | n   |
|------------|---------------------------------------|---------|------|-------------------------------------------------|-----|
|            | Média Aritmética                      | Mediana | Moda |                                                 |     |
| A          | 6,57                                  | 7       | 7    | 5,22                                            | 171 |
| B          | 5,55                                  | 6       | 6    | 4,40                                            | 184 |
| C          | 3,96                                  | 3       | 3    | 3,23                                            | 20  |

### 5.1 Geração de Resíduos Sólidos Domiciliares

#### 5.1.1 Quantidade de RSD Gerada

Na residência A, a massa de RSD gerada diariamente variou de 1,90 a 7,45 kg. O valor mínimo ocorreu em um domingo, dia 14/06/2009, no qual algumas pessoas haviam viajado. O valor médio de RSD gerado na residência A foi de 5,22 kg/dia. A população da residência variou de 3 a 7 pessoas, tendo a média aritmética de todos os dias sido de 6,57 hab.

Na residência B, a massa de RSD gerada diariamente variou de 1,20 a 6,95 kg. O valor mínimo ocorreu em um domingo, dia 01/11/2009, em que só havia 2 pessoas na residência. O valor máximo, por sua vez, ocorreu em uma sexta-feira, dia 25/12/2009, dia posterior à ceia de Natal. A população da residência variou de 2 a 6 pessoas, tendo a média aritmética de todos os dias sido de 5,55 hab.

Na residência C, a massa de RSD gerada diariamente variou de 0,25 a 7,15 kg. O valor mínimo ocorreu no dia 20/01/2010, uma quarta-feira, dia em que havia apenas 2 pessoas presentes na residência. O valor máximo ocorreu no dia 20/01/2010, um sábado, dia em que havia 9 pessoas na residência, ou seja, mais

peças que de costume. A população dessa residência variou de 2 a 9 pessoas, tendo a média aritmética de todos os dias sido de 3,96 hab.

A Tabela 23 apresenta, para melhor visualização dos dados, os valores mínimo e máximo da massa gerada por dia e a maior e menor população presente na residência nos dias de estudo para as 3 residências.

Tabela 23: Valores mínimo e máximo de massa gerada por dia e da população na residência.

| Residência | Massa (kg) |        | População (hab) |        |
|------------|------------|--------|-----------------|--------|
|            | Mínimo     | Máximo | Mínimo          | Máximo |
| A          | 1,90       | 7,45   | 3               | 7      |
| B          | 1,20       | 6,95   | 2               | 6      |
| C          | 0,25       | 7,15   | 2               | 9      |

Nas Figuras 15, 16, 17 e 18 são mostradas a massa de RSD gerada diariamente nas residências A, B e C. Como os dados da residência A foram coletados em 2 períodos diferentes, existem 2 gráficos para esta residência, referentes ao primeiro e ao segundo período respectivamente.

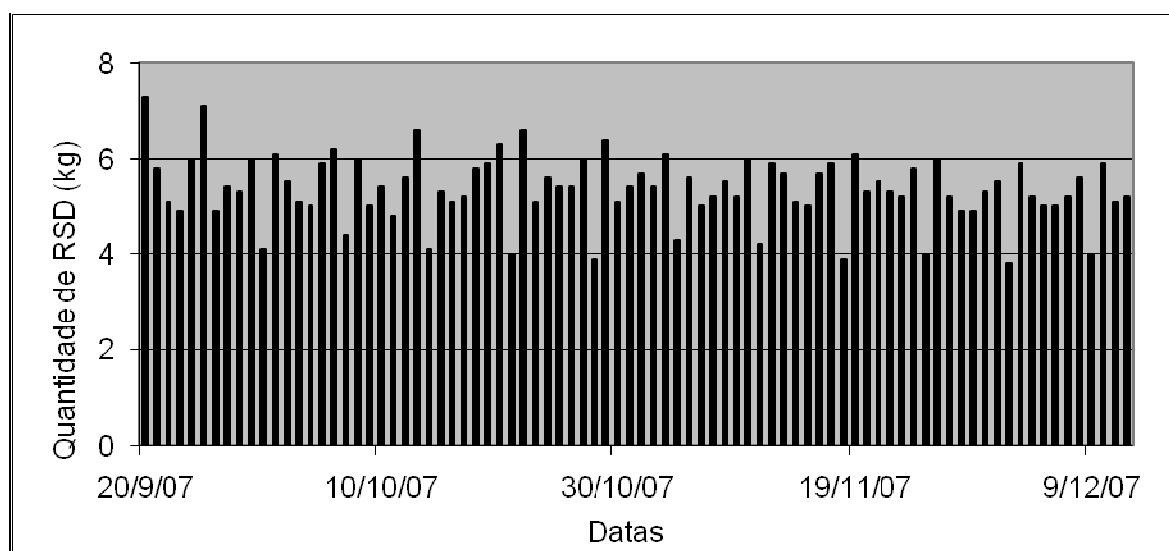


Figura 15: Quantidade de RSD gerada na residência A – 1º período.

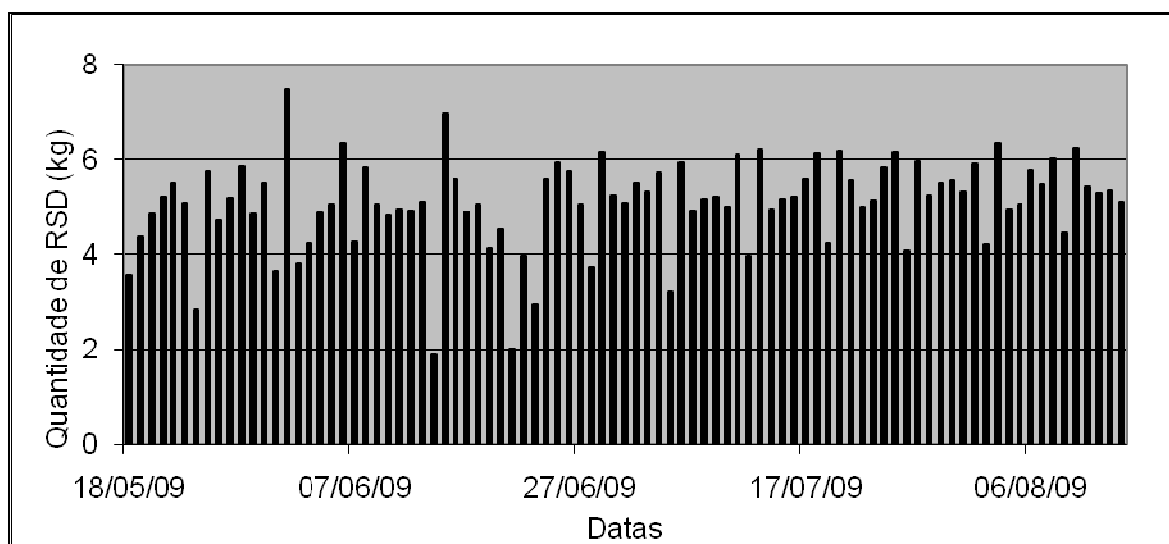


Figura 16: Quantidade de RSD gerada na residência A – 2º período.

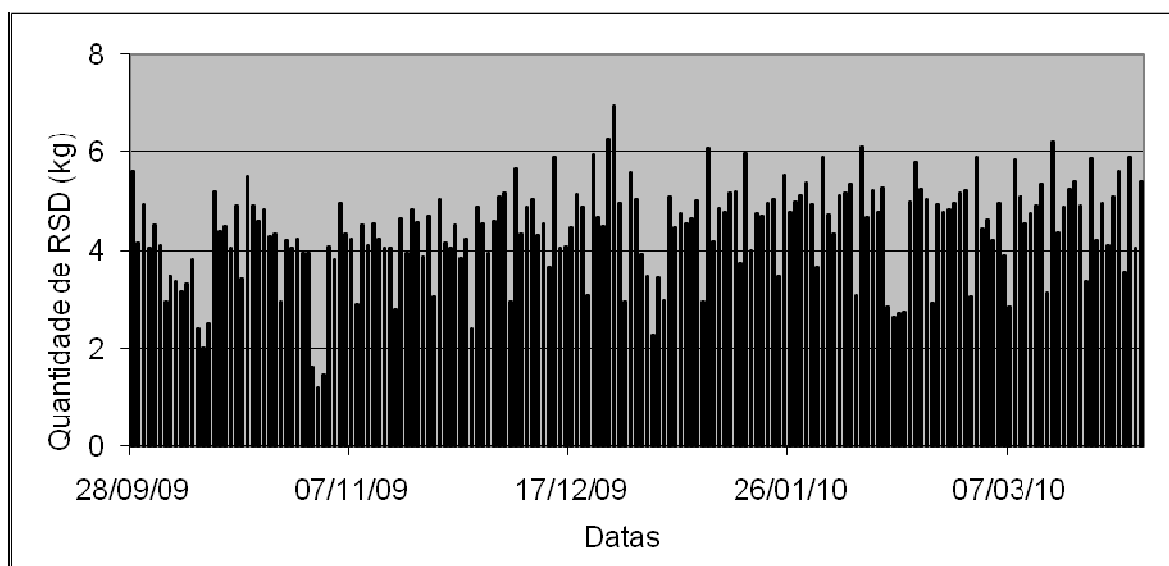


Figura 17: Massa de RSD gerada na residência B.

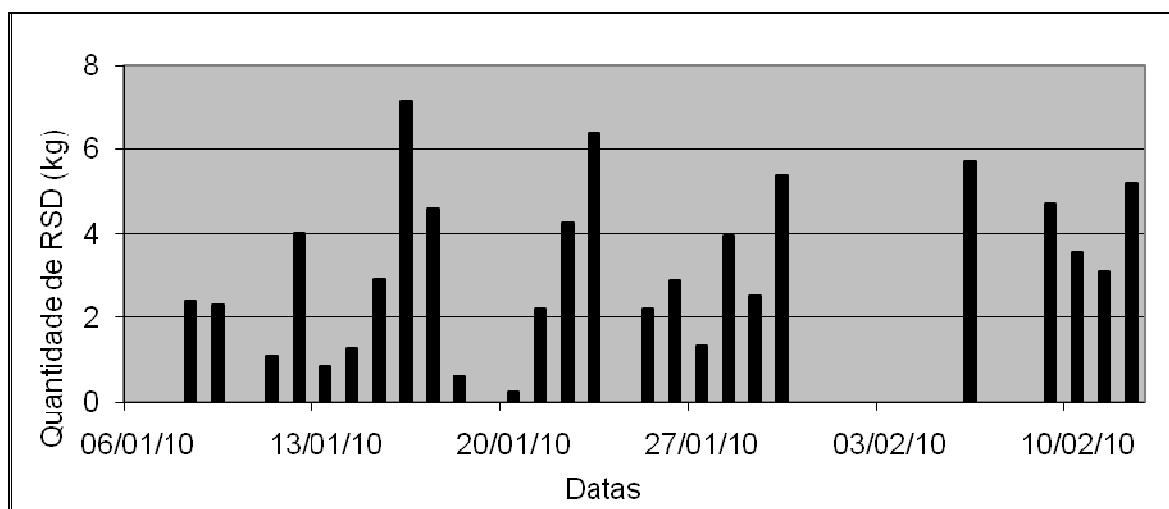


Figura 18: Quantidade de RSD gerada na residência C.

A ausência de dados em alguns dias, conforme pode-se observar na Figura 16, referente a massa de RSD gerada na residência C, são oriundos da dificuldade encontrada em realizar o levantamento dos dados nessa residência. Ocorreu que em alguns dias esqueceram de separar os RSD para a pesagem e em outros não havia pessoas na residência, o que impossibilitou o levantamento dos dados nesses dias.

### 5.1.2 Taxa de geração *per capita* de RSD

Conhecidos os valores de RSD gerados em um dado dia, bem como a correspondente população, foi calculada a taxa de geração *per capita* de RSD. Nas Figuras 19, 20, 21 e 22 são mostradas as taxas de geração *per capita* de RSD nas residências A, primeiro e segundo período, B e C, respectivamente.

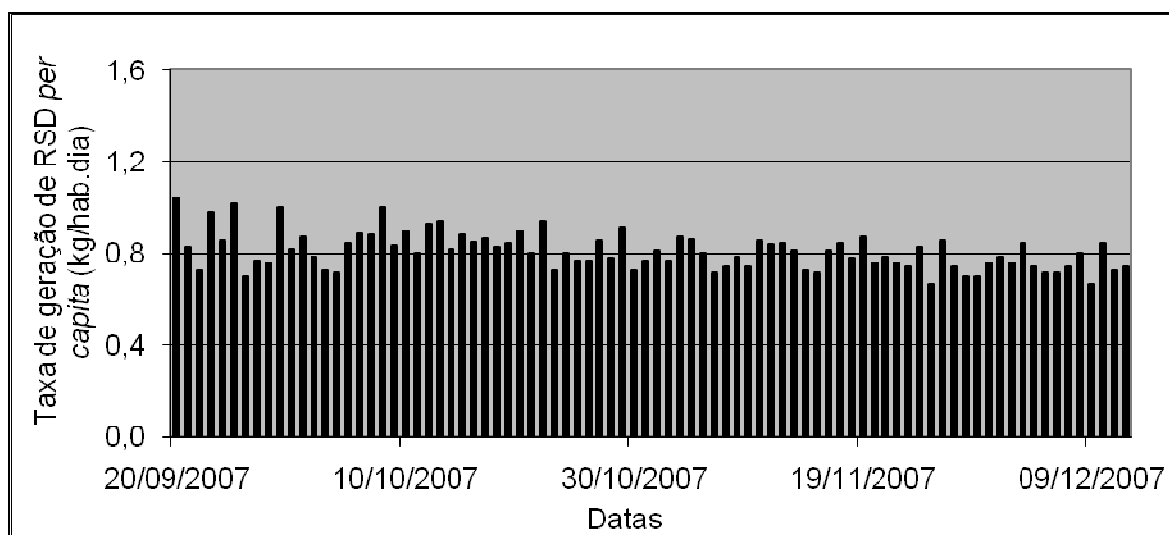


Figura 19: Taxa de geração *per capita* de RSD na residência A – 1º período.

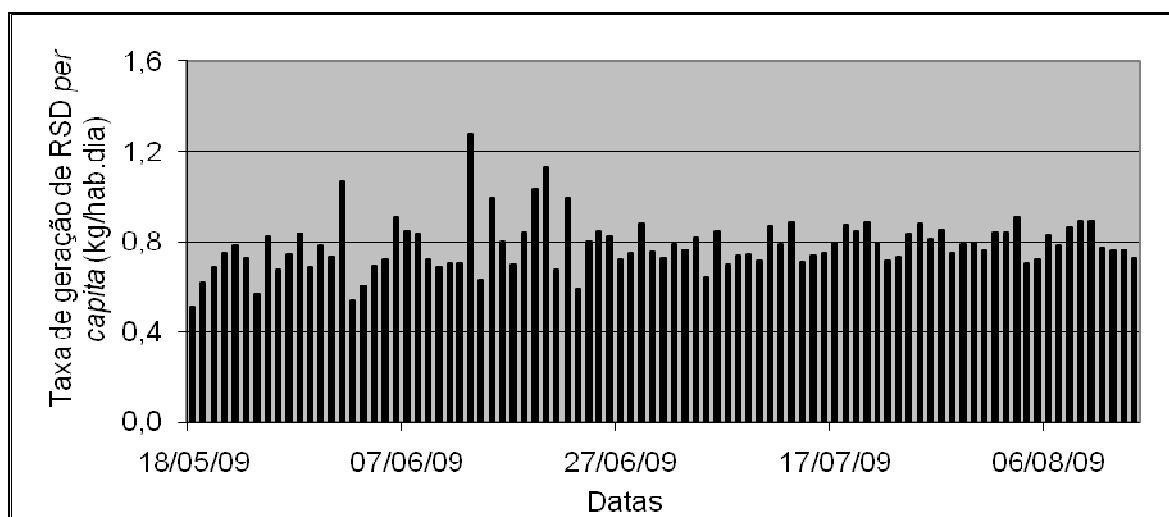


Figura 20: Taxa de geração *per capita* de RSD na residência A – 2º período.

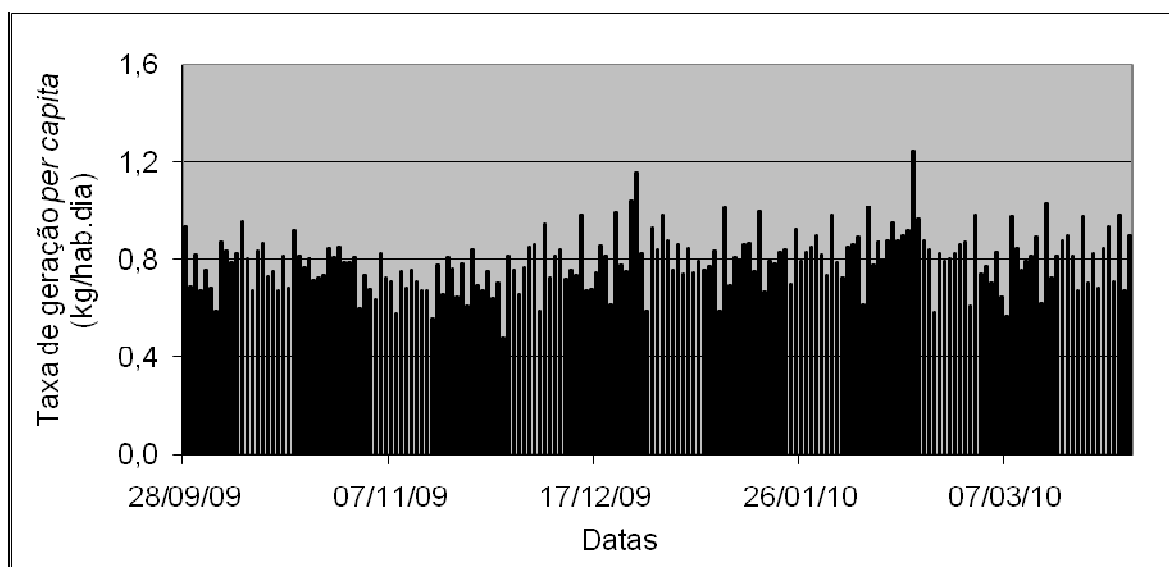


Figura 21: Taxa de geração *per capita* de RSD na residência B.

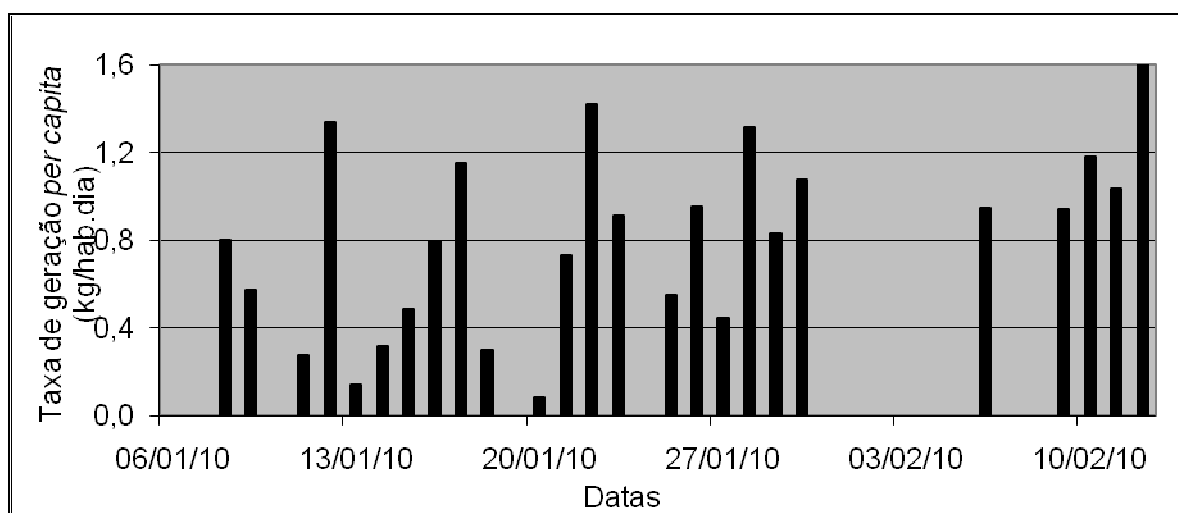


Figura 22: Taxa de geração *per capita* de RSD na residência C.

Conforme pode-se observar nas Figuras 19 a 22, nas residências A, B e C a taxa de geração *per capita* oscilou em torno de  $0,8 \text{ kg.hab}^{-1}\text{dia}^{-1}$ . Estes resultados estão compatíveis com o previsto por Philippi Jr. *et al.* (2004) e por SNIS (2007).

Na Figura 23 são mostradas as médias aritméticas da taxa de geração de RSD *per capita* em cada uma das 3 residências, bem como a média ponderada das 3 residências juntas.

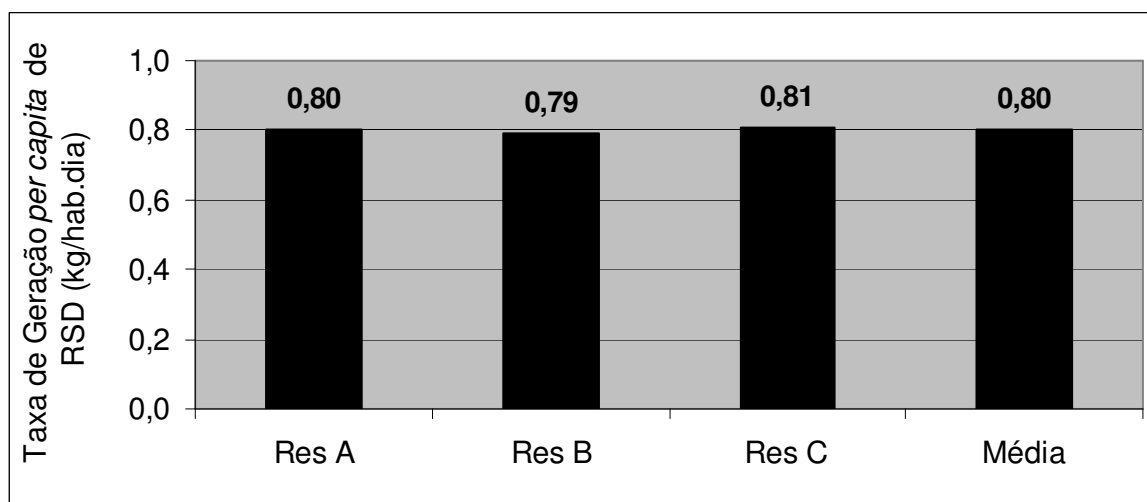


Figura 23: Média aritmética da taxa de geração *per capita* de RSD das residências A, B e C e a média ponderada das 3 residências juntas.

Em comparação com o trabalho desenvolvido por Athayde Jr. *et al.* (2007), (ver Figura 6), percebe-se que a taxa de geração *per capita* de RSD é maior em residências unifamiliares (casa) que em residência constituinte de edificação multifamiliar (apartamento). Uma possível explicação para este fato é que nos domicílios estudados por Athayde Jr. *et al.* (2007), apartamentos, não existem jardins nem quintais, setores estes responsáveis por uma parcela da geração de RSD.



## 5.2 Consumo de água

### 5.2.1 Quantidade de água consumida

Na residência A, a quantidade de água consumida diariamente oscilou entre 695,7 e 1542,3 L. O valor mínimo ocorreu no dia 21/06/09, domingo, dia em que havia menos pessoas na residência. Já o valor máximo de consumo de água se deu no dia 01/10/07, uma segunda-feira, dia em que se costuma encher a piscina da residência. O valor médio de consumo foi de 1088,9L.

Na residência B, a quantidade diária de água consumida teve como valor mínimo 210,5L e como valor máximo 1020,0L. O valor mínimo ocorreu no dia 01/11/09, domingo, dia em que só havia 2 pessoas na residência. O valor médio de consumo foi de 702,4L. Na residência B, não há piscina.

Na residência C, o consumo diário de água oscilou entre 655,6 e 1291,8L. O menor consumo de água ocorreu no dia 20/01/10, quarta-feira, enquanto que o maior consumo ocorreu no dia 16/01/10, um sábado, dia em que havia 9 pessoas na residência, uma quantidade bem superior ao de costume. O valor médio de consumo foi de 1018,4L. Na residência C, não há piscina.

Para melhor visualização, na Tabela 24 são mostrados os valores mínimo máximo e médio do consumo de água nas residências A, B e C.

Tabela 24: Apresenta o consumo de água mínimo, máximo e médio para as residências A, B e C.

| Residência | Consumo de água (L/d) |        |        |
|------------|-----------------------|--------|--------|
|            | Mínimo                | Máximo | Médio  |
| A          | 695,7                 | 1542,3 | 1088,9 |
| B          | 210,5                 | 1020,0 | 702,4  |
| C          | 655,6                 | 1291,8 | 1018,4 |

Nas Figuras 24, 25, 26 e 27 são apresentados o consumo de água diário nas residências A, primeiro e segundo período, B e C.

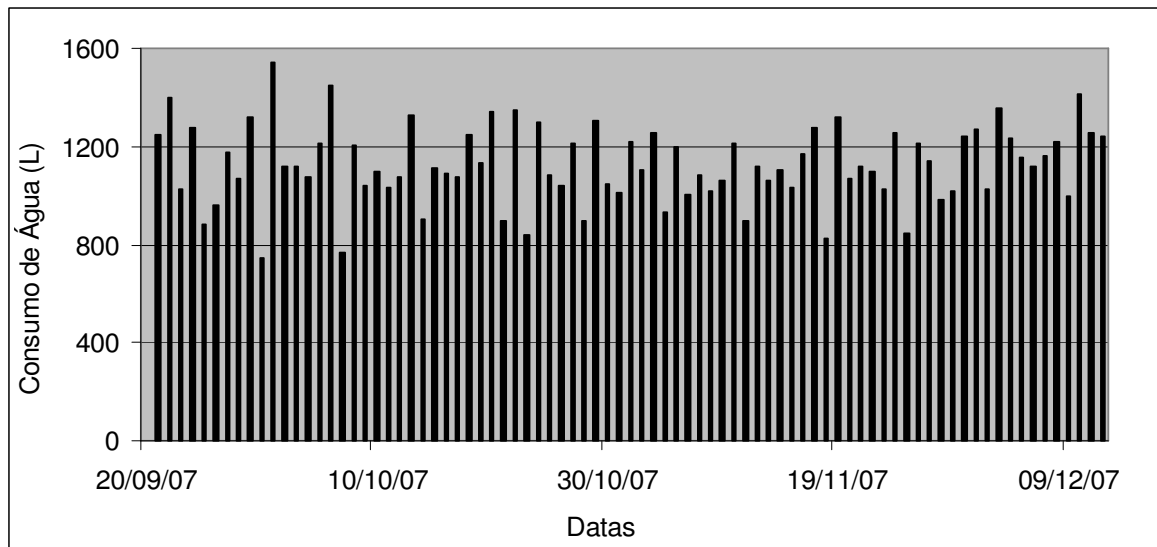


Figura 24: Consumo diário de água na residência A – 1º período

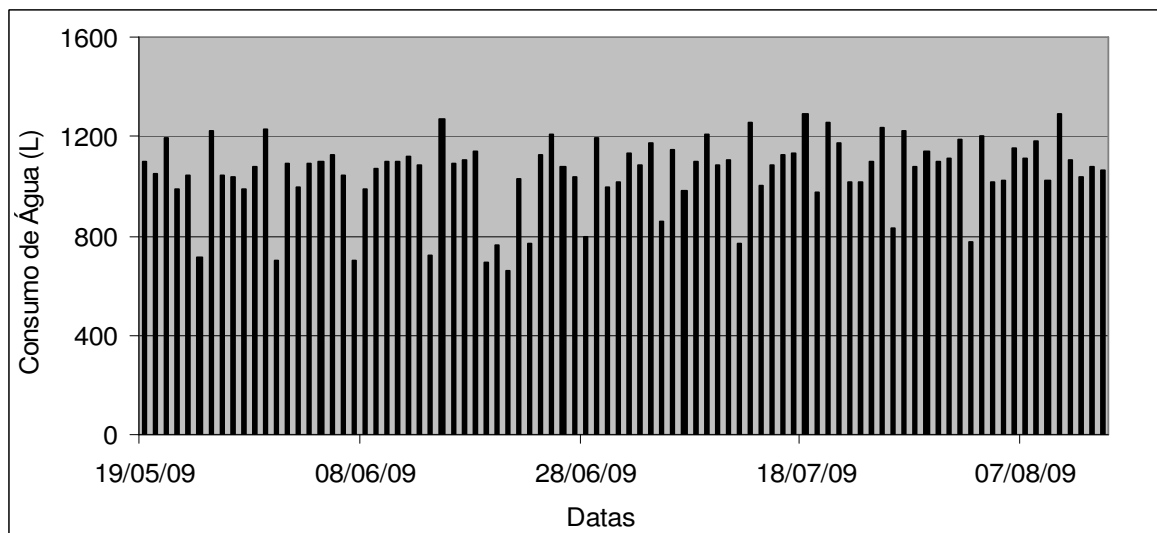


Figura 25: Consumo diário de água na residência A – 2º período

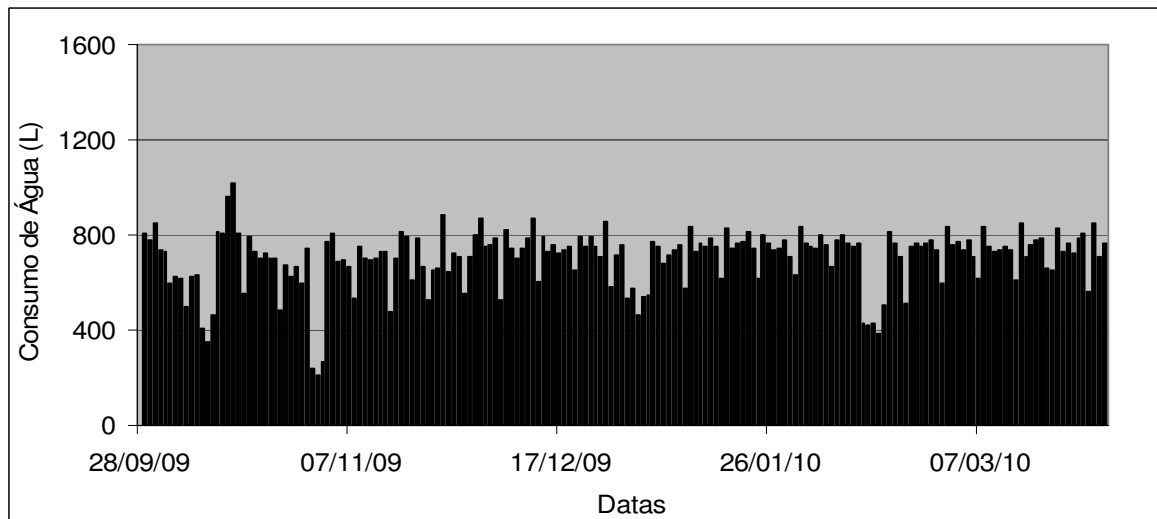


Figura 26: Consumo diário de água na residência B

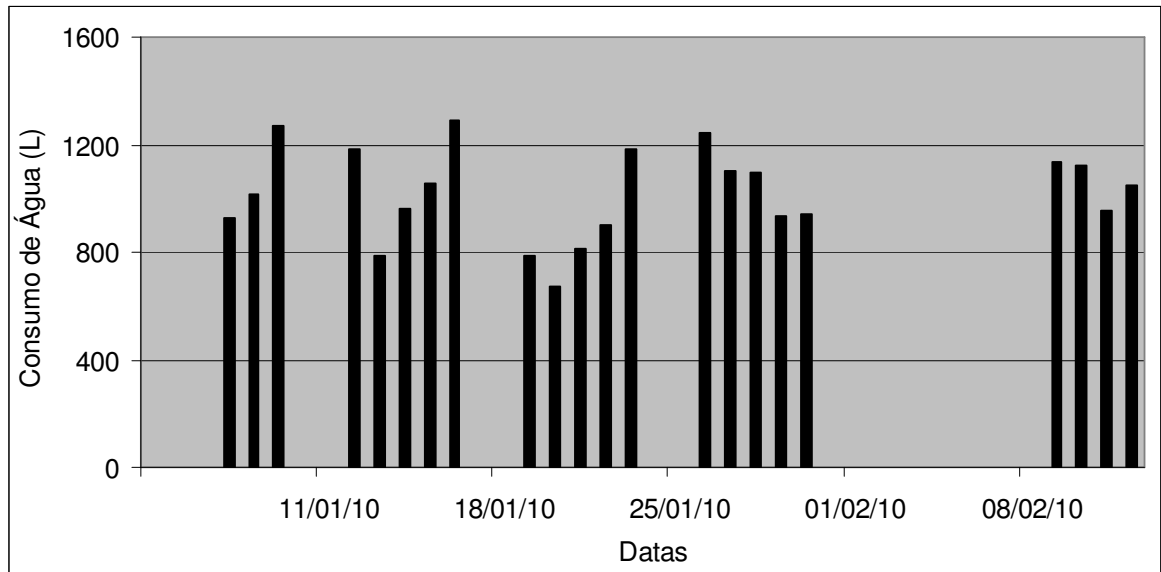


Figura 27: Consumo diário de água na residência C.

### 5.2.2 Consumo *per capita* de água

Conhecida a quantidade de água consumida em um dado dia, bem como a correspondente população, foi possível determinar o consumo de água *per capita* das residências. Nas Figuras 28, 29, 30 e 31 são mostrados o consumo *per capita* diário de água nas residências A, primeiro e segundo períodos, B e C, respectivamente.

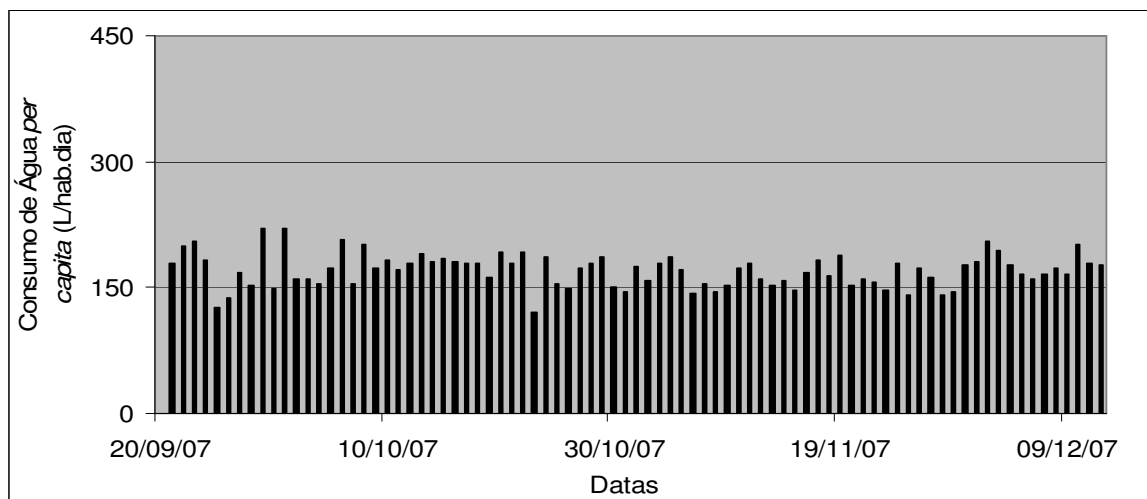


Figura 28: Mostra o consumo *per capita* diário da residência A – 1º período.

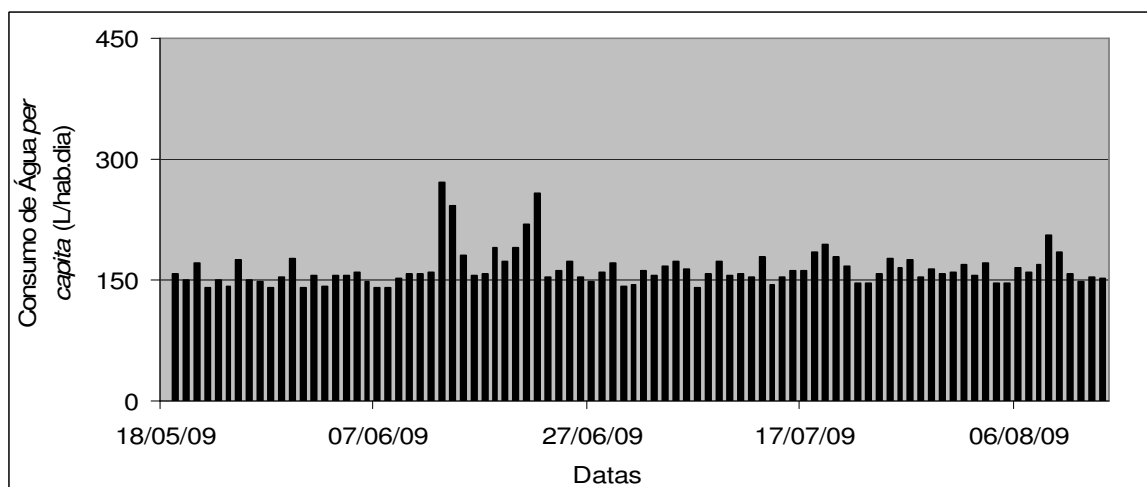


Figura 29: Mostra o consumo *per capita* diário da residência A – 2º período.

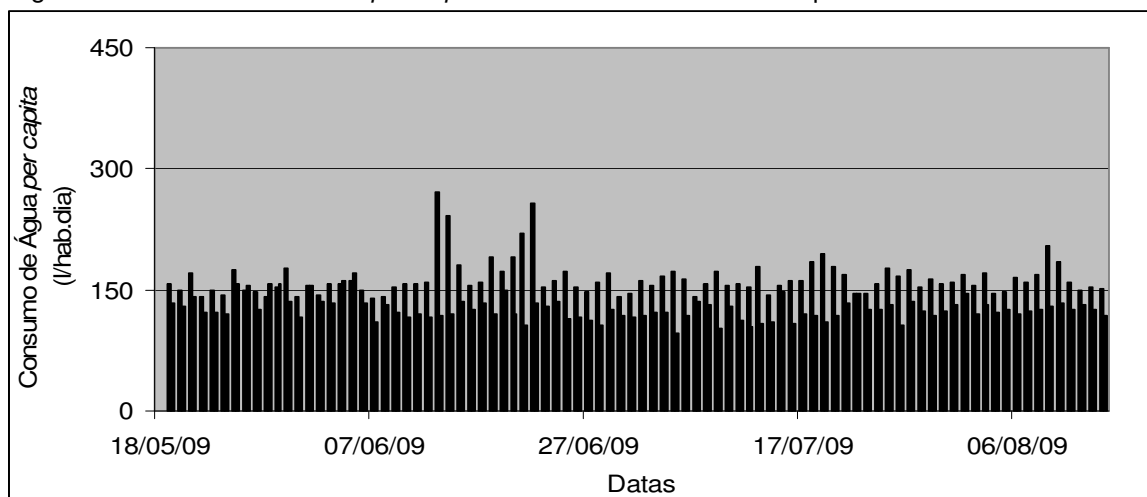


Figura 30: Mostra o consumo *per capita* diário da residência B.

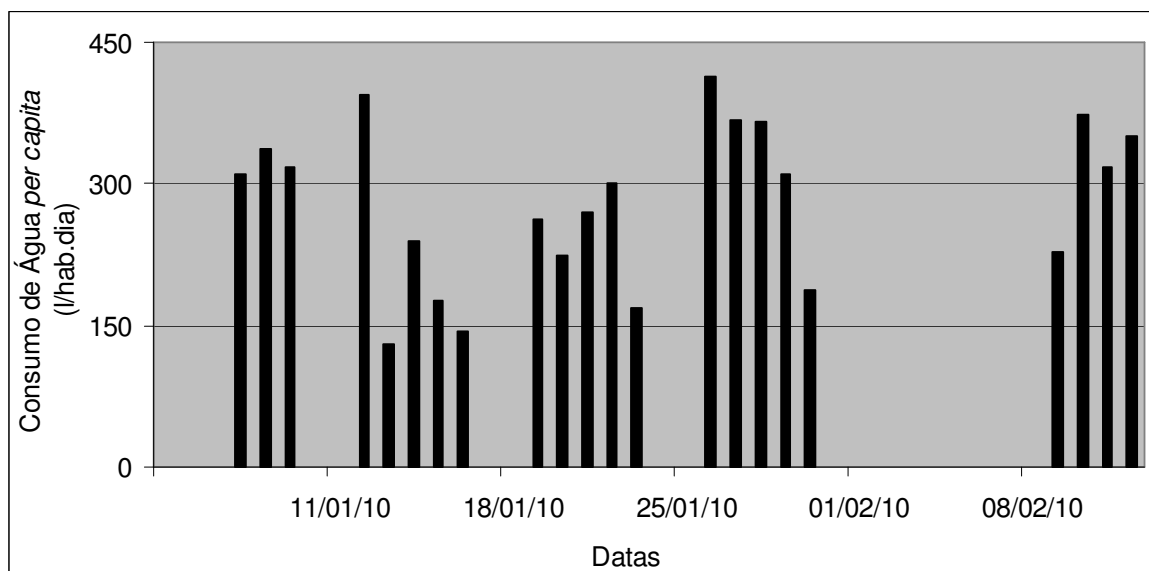


Figura 31: Mostra o consumo *per capita* diário da residência C.

A Figura 32 mostra a média aritmética do consumo de água *per capita* das residências A, B e C, bem como a média ponderada do consumo das 3 residências juntas.

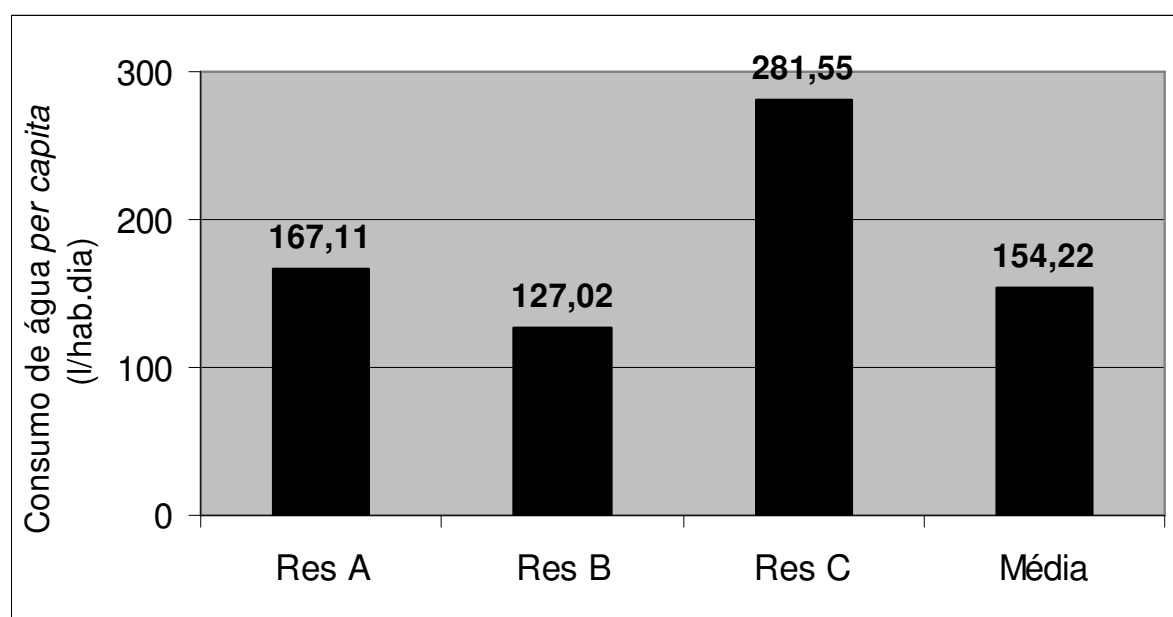


Figura 32: Média aritmética do consumo de água *per capita* das residências A, B e C e média ponderada das 3 residências.

Como pode-se observar, o consumo médio para as 3 residências foi de 154,22 L, o que se encontra próximo aos valores encontrados na literatura, uma vez que, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2005, o consumo médio do Brasil em 2004 foi de aproximadamente 142 L/pessoa/dia.

### 5.3 Consumo de Energia Elétrica

#### 5.3.1 Energia Elétrica consumida

Na residência A, o consumo diário de energia elétrica variou entre 7,89 e 23,73 kWh. O menor consumo ocorreu no dia 11/11/2007, um domingo, dia em que havia menos pessoas na residência. O valor médio do consumo foi de 16,16 kWh.

Na residência B, o consumo diário de energia elétrica oscilou entre 8,98 e 18,08 kWh. O valor médio do consumo de energia elétrica na residência B foi de 14,10 kWh.

Na residência C, o consumo diário de energia elétrica variou entre 10,07 e 20,31 kWh. O valor médio do consumo de energia elétrica na residência C foi de 14,66 kWh.

Na Tabela 25 são apresentados o consumo de energia elétrica mínimo, máximo e médio para as residências A, B e C.

Tabela 25: Consumo de energia elétrica mínimo, máximo e médio para as residências A, B e C.

| Residência | Consumo de Energia Elétrica (kWh) |        |       |
|------------|-----------------------------------|--------|-------|
|            | Mínimo                            | Máximo | Médio |
| A          | 7,89                              | 23,73  | 16,16 |
| B          | 8,98                              | 18,08  | 14,10 |
| C          | 10,07                             | 20,31  | 14,66 |

As Figuras 33, 34, 35 e 36 mostram o consumo diário de energia elétrica nas residências A, primeiro e segundo períodos, B e C, respectivamente.

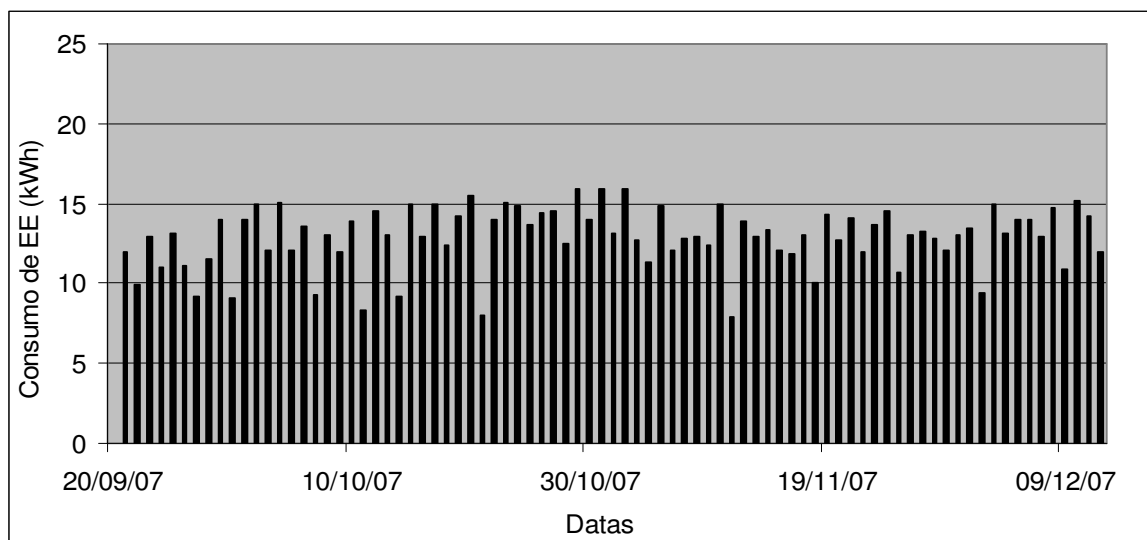


Figura 33: Consumo de energia elétrica na residência A, 1º período.

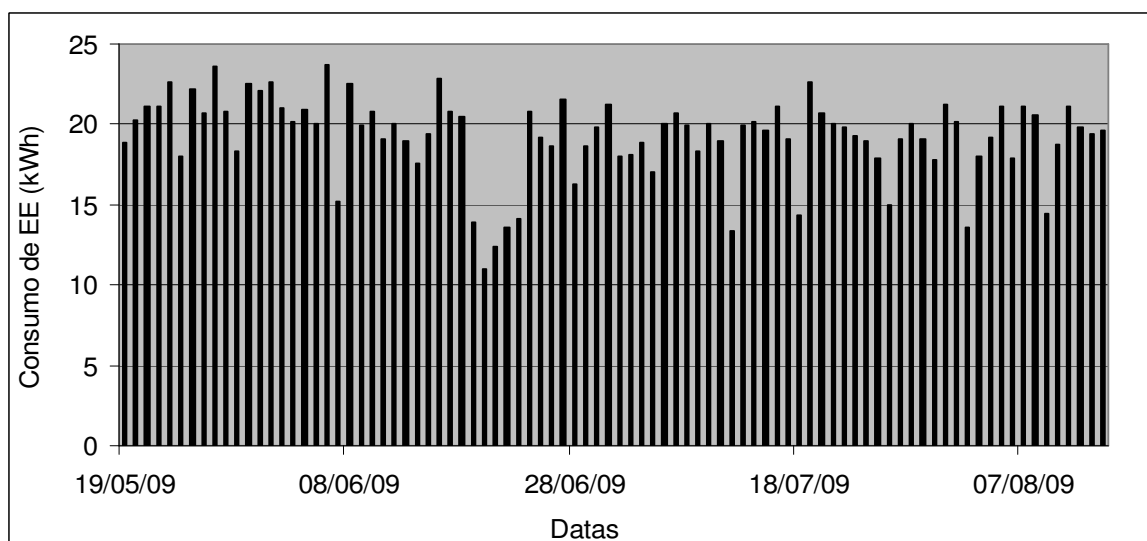


Figura 34: Consumo de energia elétrica na residência A, 2º período.

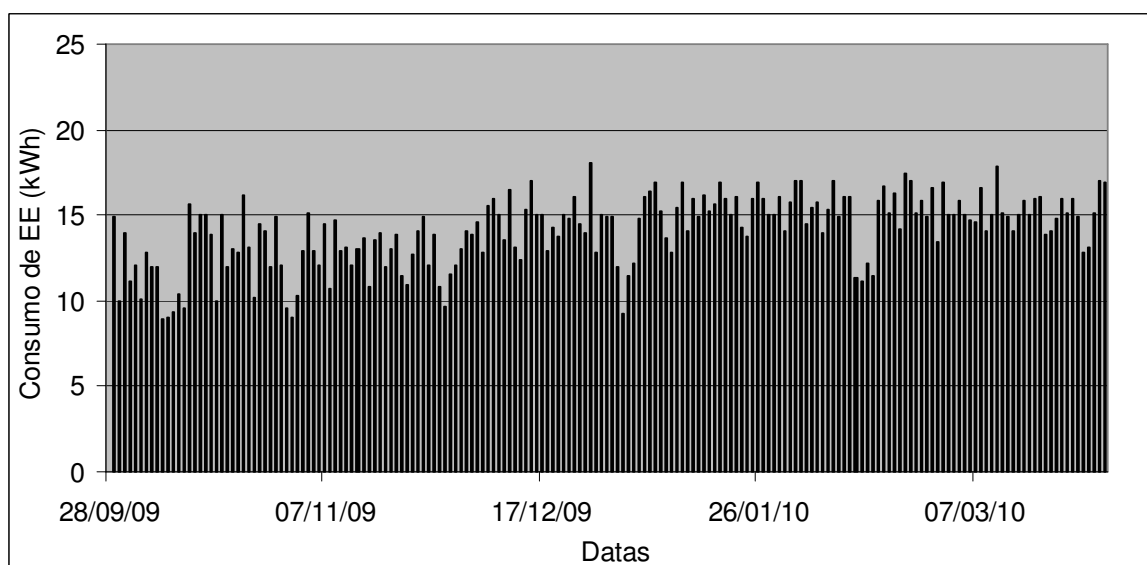


Figura 35: Consumo de energia elétrica na residência B.

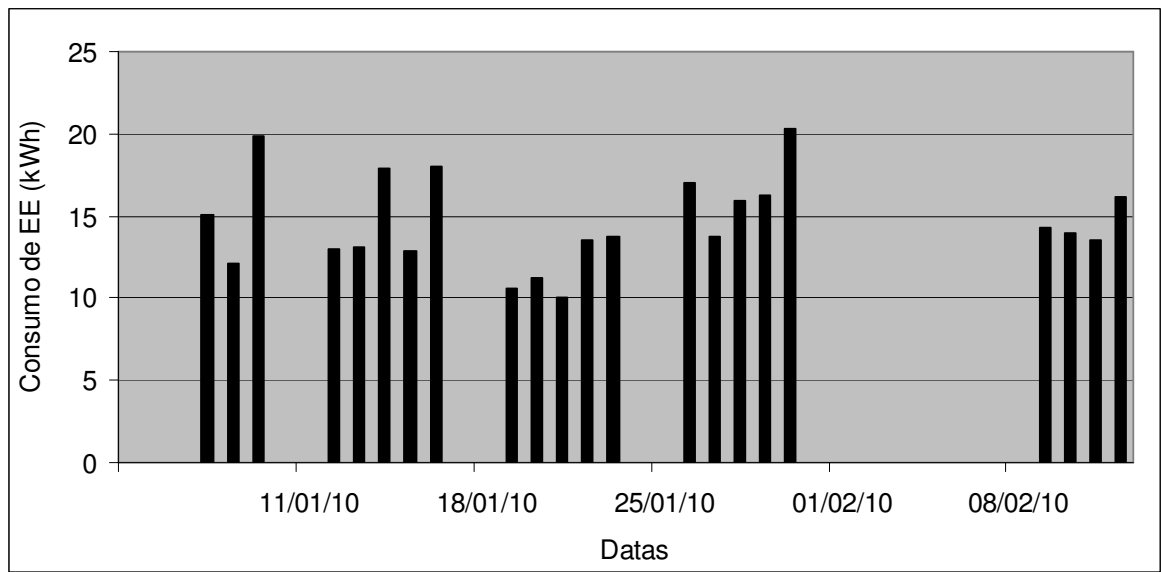


Figura 36: Consumo de energia elétrica na residência C.



### 5.3.2 Consumo *per capita* de energia elétrica

Sendo conhecido o consumo de energia elétrica e a população correspondente, foi calculado o consumo *per capita* de energia elétrica.

As Figuras 37, 38, 39 e 40 mostram o consumo de energia elétrica *per capita* nas residências A, primeiro e segundo períodos, B e C.

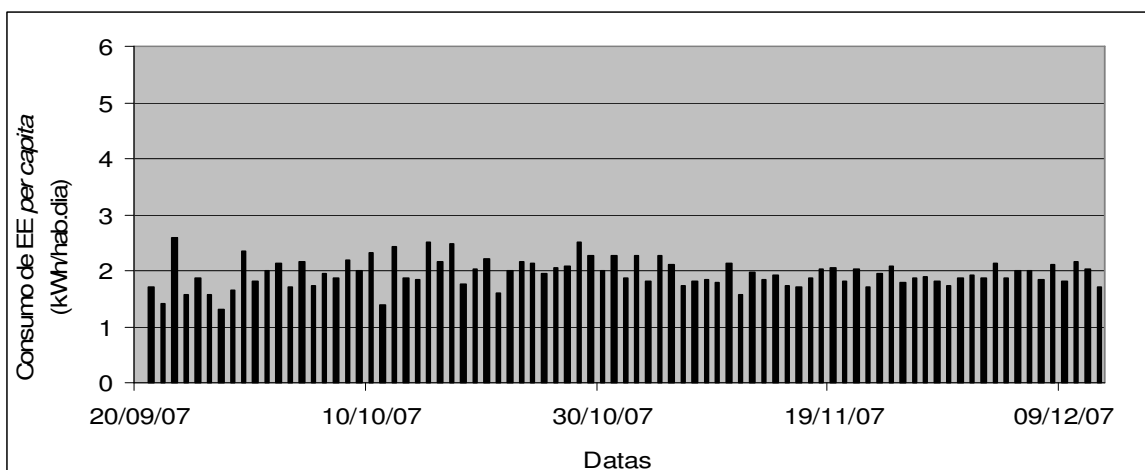


Figura 37: Consumo *per capita* de energia elétrica na residência A, 1º período.

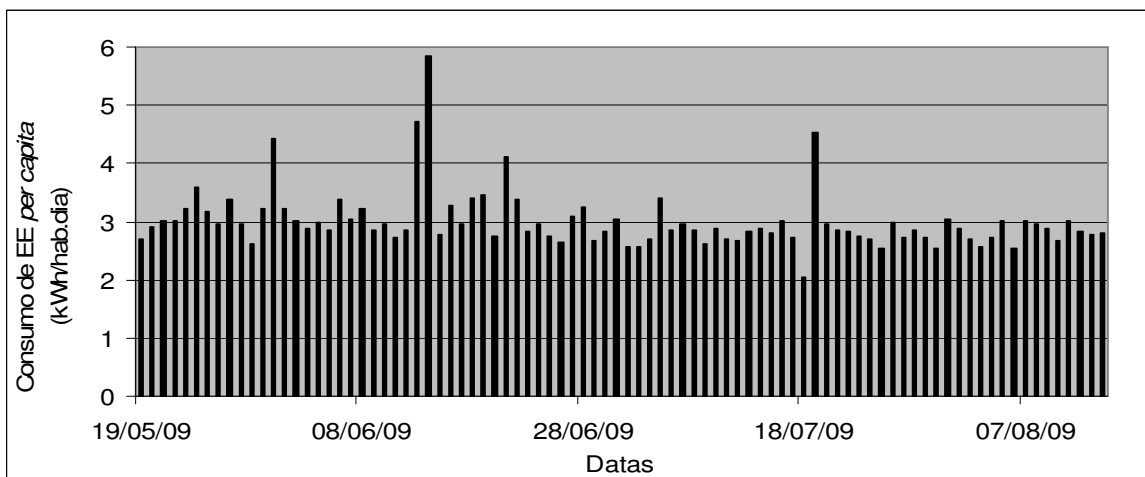


Figura 38: Consumo *per capita* de energia elétrica na residência A, 2º período.

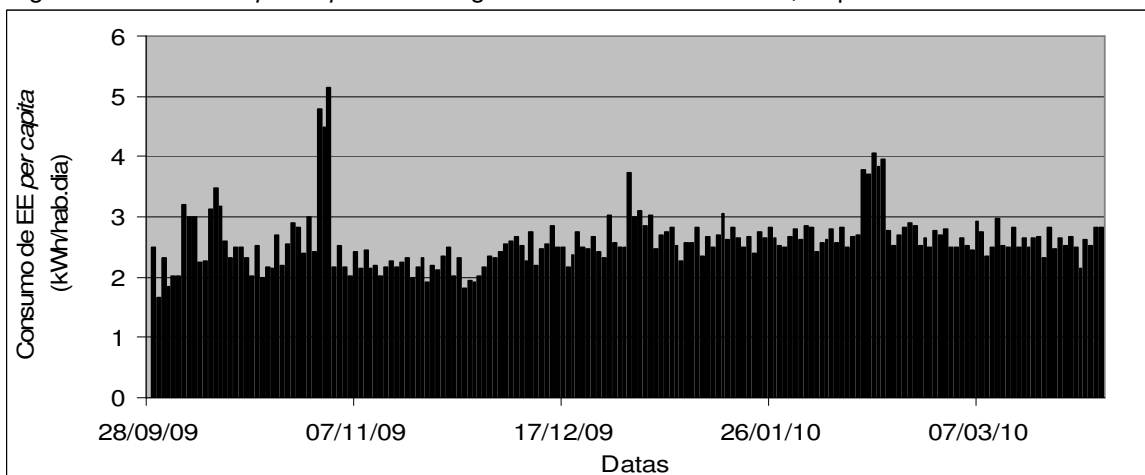


Figura 39: Consumo *per capita* de energia elétrica na residência B.

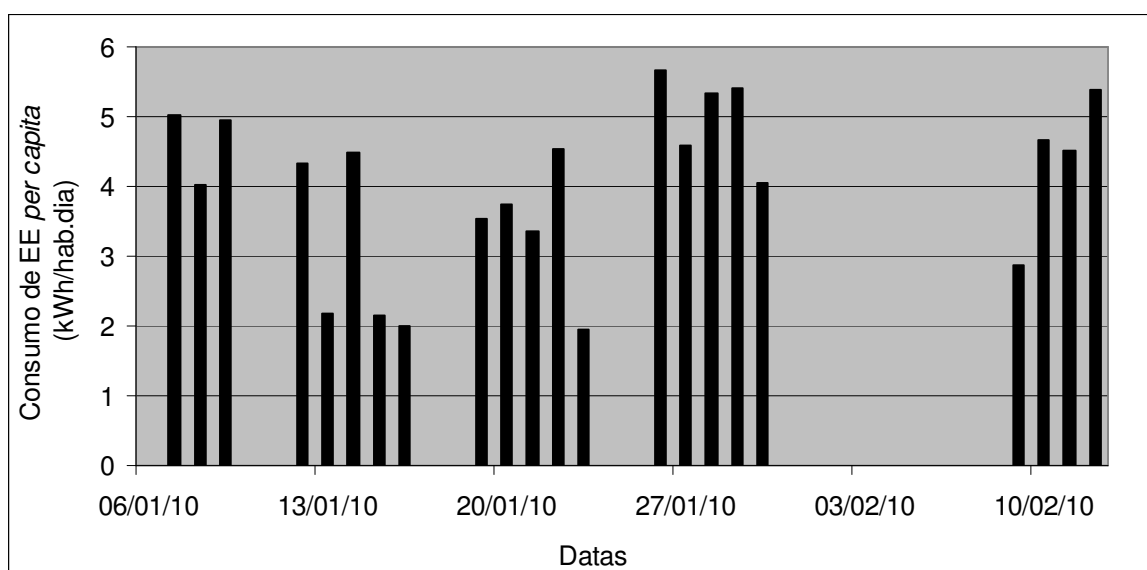


Figura 40: Consumo *per capita* de energia elétrica na residência C.

Na Figura 41 são apresentadas a média aritmética do consumo *per capita* de energia elétrica em cada residência, bem como a média ponderada das 3 residências.

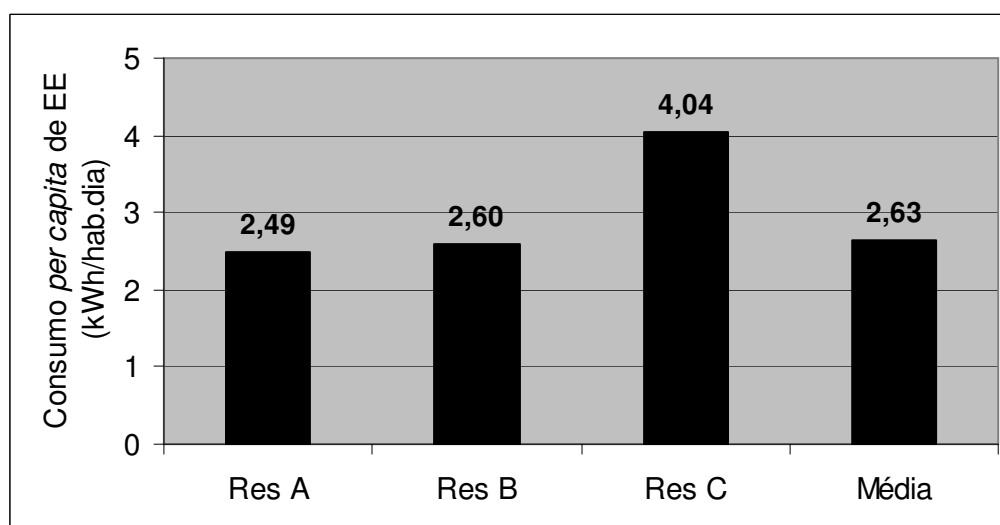


Figura 41: Consumo *per capita* de energia elétrica em cada residência e média ponderada do consumo nas 3 residências.

Como pode-se observar, a média ponderada do consumo nas 3 residências foi de 2,63kWh, o que se encontra próximo aos valores apontados pela literatura, tendo em vista que, segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2008), o consumo *per capita* na região Nordeste em 2008 foi de 97 kWh/mês ou seja 3,23kWh/dia. Importante ressaltar que nos valores do EPE (2008) também esta sendo considerada a energia pública.

## 5.4 Correlação entre a geração de RSD e o consumo de água

### 5.4.1 Correlação entre a massa gerada de RSD e o consumo de água

A correlação entre a massa de RSD gerada diariamente e o consumo de água diário foi estudada nas 3 residências separadamente, com o intuito de saber se os dois parâmetros estavam relacionados. Em seguida, analisou-se também o conjunto de dados, no entanto, nesta etapa, só foram considerados os dados das residências A e B, uma vez que na residência C ocorreram problemas durante a coleta de dados, não tendo sido possível obter um número razoável de dados confiáveis nesta residência.

Na Tabela 26 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação entre os dados diários de massa de RSD gerada e do consumo de água, além do número de dias estudados (n) e do nível de significância estatística desses coeficientes para cada uma das residências e para o conjunto de dados das residências A e B.

Tabela 26: Coeficientes de correlação (r), número de dias estudados (n) e nível de significância estatística para as residências A, B e C, bem como para o conjunto de dados das residências A e B.

| Residências                              | Coeficiente de correlação (r) | n   | Nível de significância estatística |
|------------------------------------------|-------------------------------|-----|------------------------------------|
| A                                        | 0,7511                        | 171 | $\leq 0,001$                       |
| B                                        | 0,7827                        | 184 | $\leq 0,001$                       |
| C                                        | 0,5538                        | 20  | 0,011                              |
| Conjunto dos dados das residências A e B | 0,7359                        | 355 | $\leq 0,001$                       |

Analisando-se os dados, percebe-se que para as residências A e B, bem como para o conjunto de seus dados obteve-se uma correlação significativa ao nível de 0,1%. Na residência C, no entanto, essa correlação não se mostrou significativa.

Para as residências A, B e para o conjunto de dados das mesmas, segundo Shimakura (2006), a correlação encontrada entre a geração de RSD e o consumo de água foi forte, uma vez que para os 3 casos o r foi superior a 0,7.

Desta forma, espera-se poder estimar a geração de resíduos a partir do consumo de água com bastante confiança.

As análises de regressão para os dados das residências A, B, C e das residências A e B em conjunto produziram as equações mostradas nas Figuras 42, 43, 44 e 45.

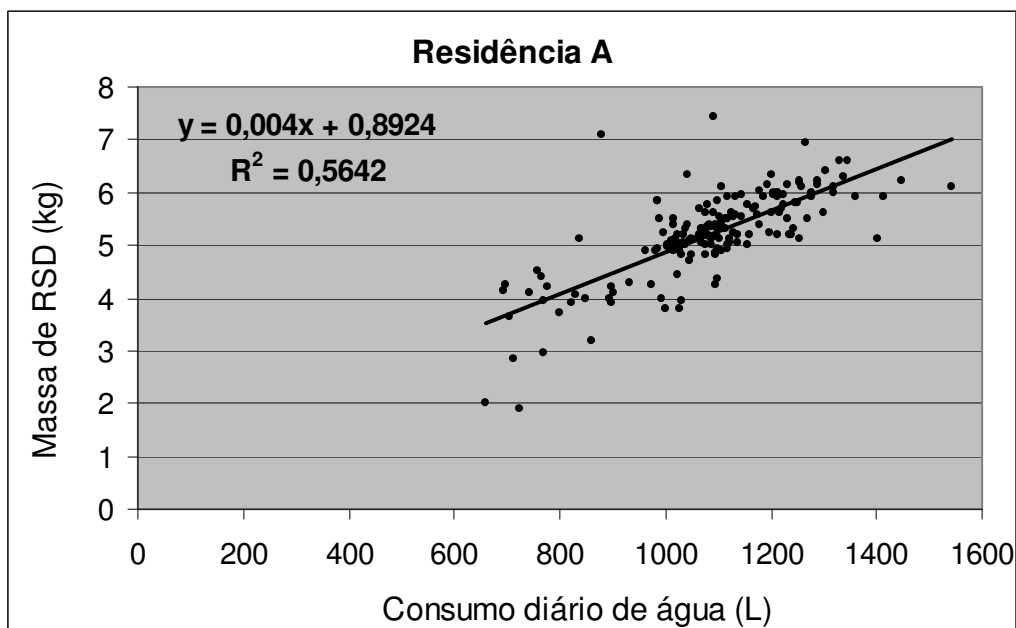


Figura 42: Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para a residência A.

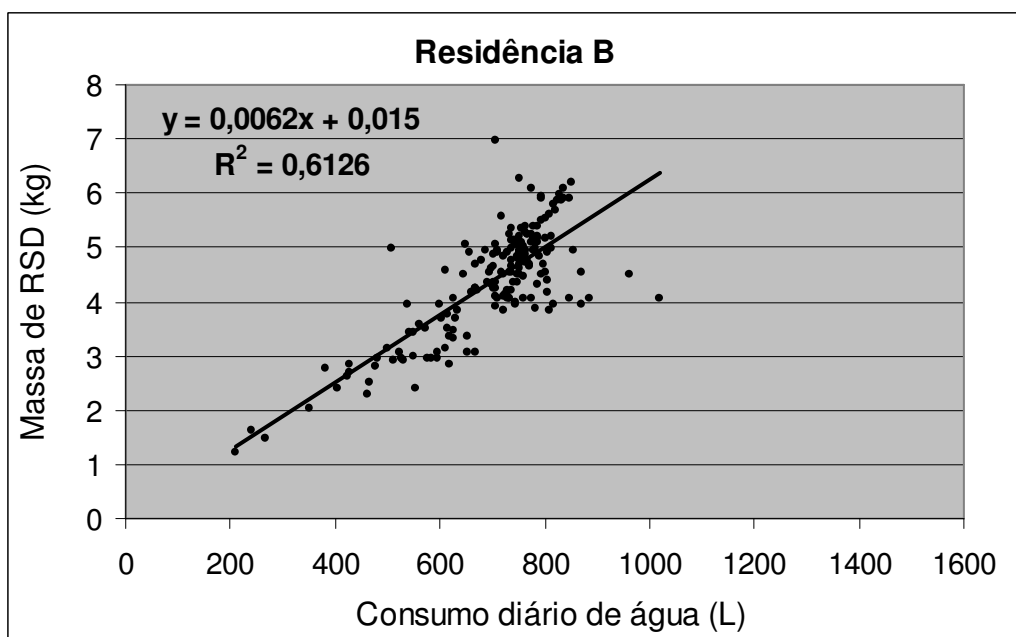


Figura 43: Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para a residência B.

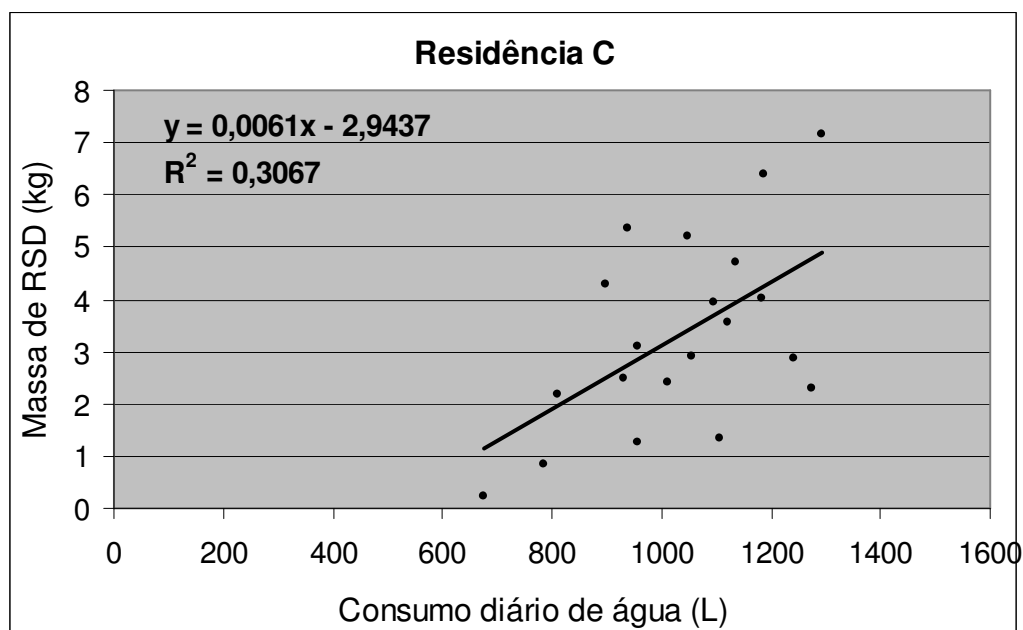


Figura 44: Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para a residência C.

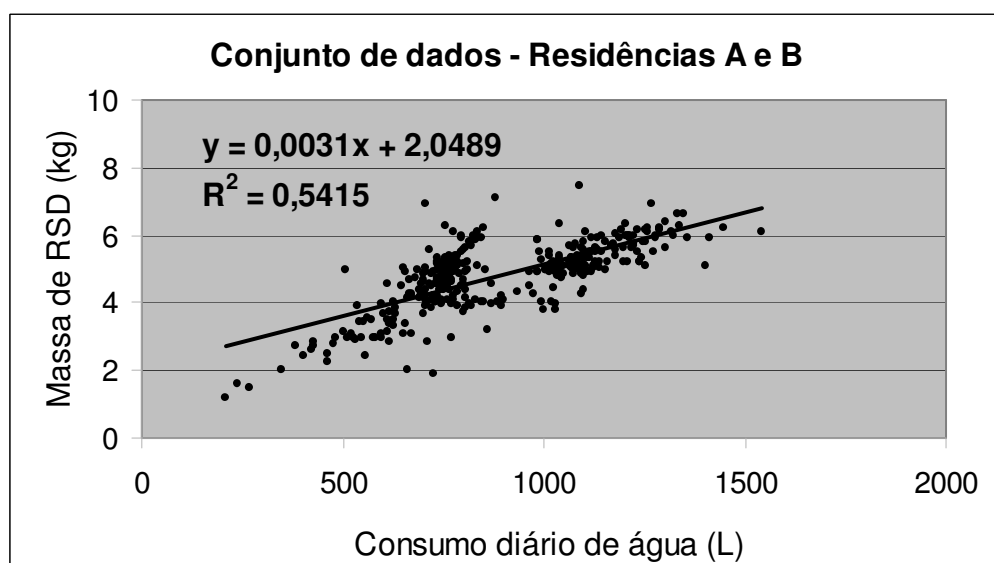


Figura 45: Gráfico de dispersão da massa de RSD e consumo de água para o conjunto de dados das residências A e B.

Em comparação com o trabalho de Athayde Jr. *et al.* (2007), os resultados deste trabalho estão semelhantes, uma vez que no referido trabalho também se encontrou fortes coeficiente de correlação entre a massa gerada de RSD e o consumo de água.

#### 5.4.2 Correlação entre taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de água

Foi estudada nas 3 residências a correlação, em base diária, entre a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de água para cada uma das residências, bem como para as residências A e B em conjunto.

Na Tabela 27 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação ( $r$ ) dos dados diários de massa de RSD *per capita* gerada e do consumo de água *per capita*, além do número de dias estudados ( $n$ ) e do nível de significância estatística desses coeficientes para cada uma das residências e para o conjunto de dados das residências A e B.

Tabela 27: Coeficientes de correlação entre a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de água, número de dias estudados ( $n$ ) e nível de significância para as residências A, B e C, bem como para o conjunto de dados das residências A e B.

| Residências                             | Coeficientes de correlação | n   | Níveis de significância estatística |
|-----------------------------------------|----------------------------|-----|-------------------------------------|
| A                                       | 0,5266                     | 171 | $\leq 0,001$                        |
| B                                       | 0,3703                     | 184 | $\leq 0,001$                        |
| C                                       | 0,4908                     | 20  | 0,028                               |
| Conjunto de dados das residências A e B | 0,3009                     | 355 | $\leq 0,001$                        |

Quanto ao nível de significância estatística, as análises de regressão com os valores *per capita* de geração de resíduos sólidos e consumo de água apresentaram semelhança com as análises dos dados em termos absolutos. Nas residências A, B e no conjunto de dados destas duas residências a correlação foi significativa ao nível de 0,1%, porém na residência C isto não ocorreu devido ao pequeno número de dados levantados, conforme já mencionado.

Observa-se que para os valores absolutos houve uma melhor correlação do que para os valores *per capita*. Enquanto que para os valores absolutos a correlação encontrada, segundo a tabela de Shimakura (2006), foi forte, para os valores *per capita* a correlação encontrada foi moderada para a residência A e fraca para a residência B e para o conjunto de dados das residências A e B.

As análises de regressão para os dados *per capita* de RSD e consumo de água para as residências A, B, C e para as residências A e B em conjunto produziram as equações mostradas nas Figuras 46, 47, 48 e 49.

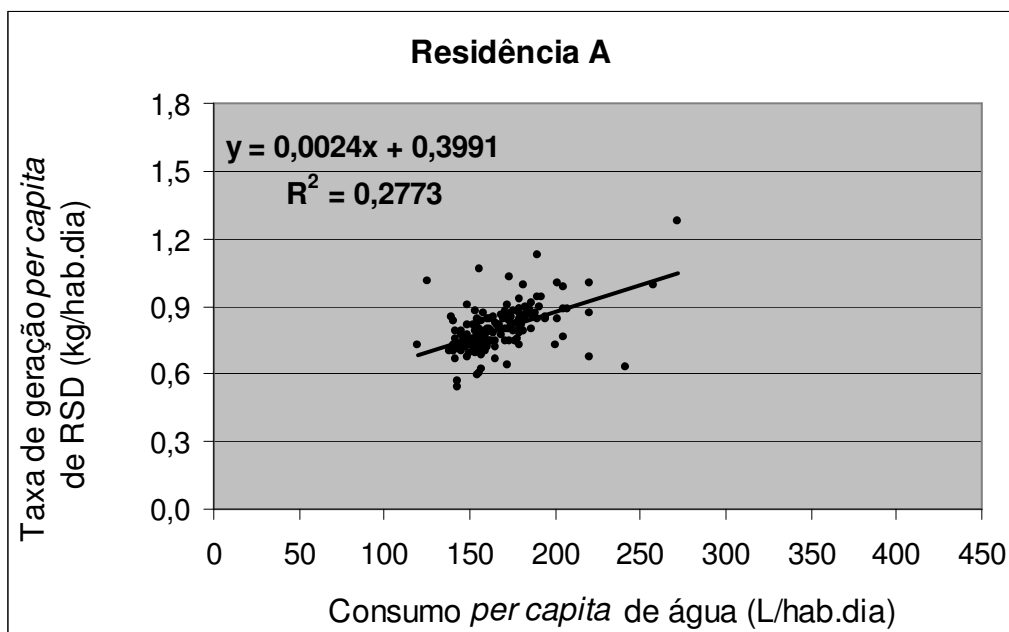


Figura 46: Gráfico de dispersão para a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de água para a residência A.

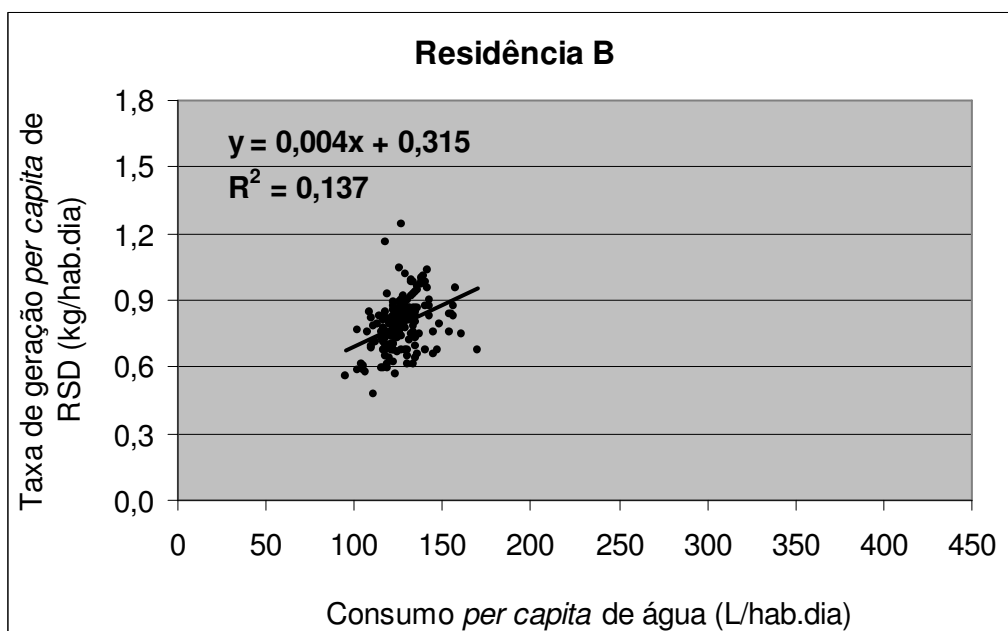


Figura 47: Gráfico de dispersão para a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de água para a residência B.

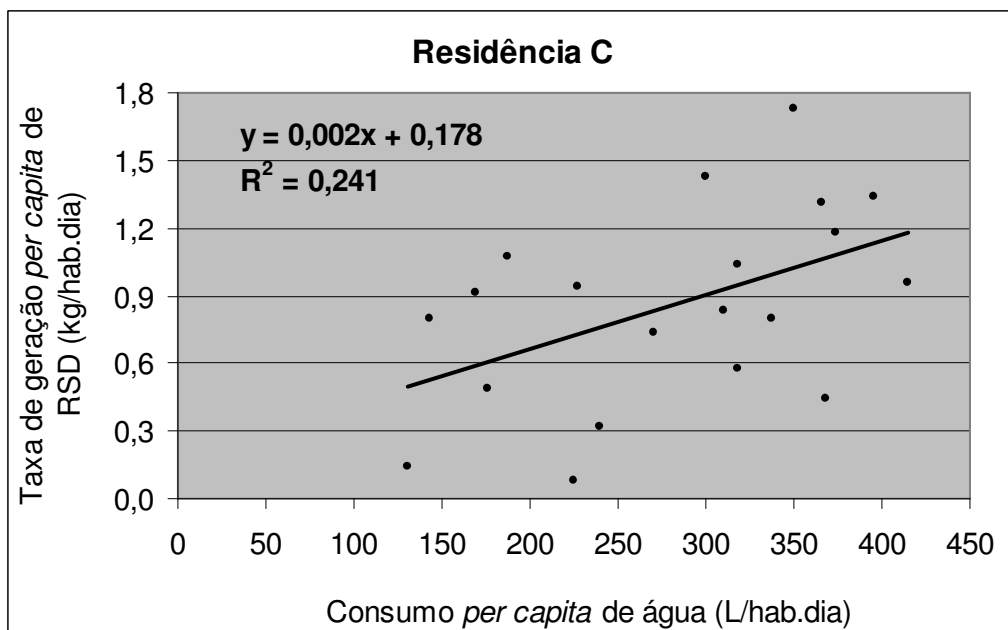


Figura 48: Gráfico de dispersão para a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de água para a residência C.

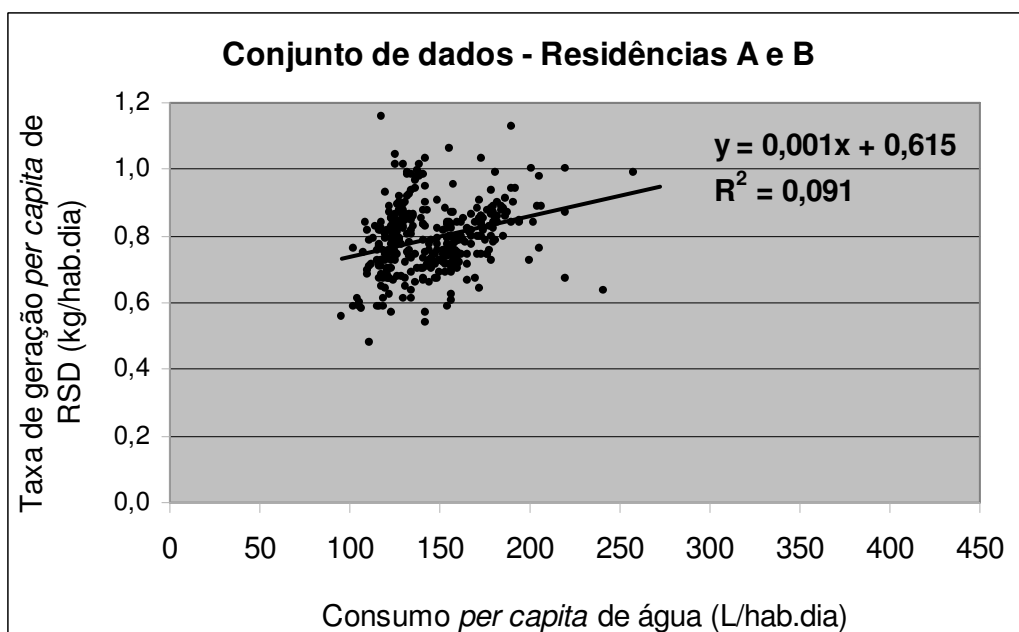


Figura 49: Gráfico de dispersão para a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de água para as residências A e B.



## 5.5 Correlação entre a massa de RSD e o consumo de energia elétrica

### 5.5.1 Correlação estabelecida entre a massa gerada de RSD e o consumo de energia elétrica

A correlação entre a quantidade de RSD gerada e o consumo de energia elétrica, em base diária, foi estudada nas residências A, B e C, bem como no conjunto de dados das residências A e B.

A Tabela 28 mostra os coeficientes de correlação entre a massa gerada de RSD e o consumo de energia elétrica, e seus respectivos níveis de significância estatística, bem como o número de dias estudados (n) para cada uma das residências e para o conjunto de dados das residências A e B.

Tabela 28: Coeficientes de correlação entre a massa de RSD e o consumo de energia elétrica (base diária), nível de significância estatística e número de dias estudados (n).

| Residências                             | Coeficientes de correlação | n   | Níveis de significância estatística |
|-----------------------------------------|----------------------------|-----|-------------------------------------|
| A                                       | 0,1704                     | 171 | 0,026                               |
| B                                       | 0,6161                     | 184 | $\leq 0,001$                        |
| C                                       | 0,4129                     | 20  | 0,143                               |
| Conjunto de dados das residências A e B | 0,4097                     | 355 | $\leq 0,001$                        |

Conforme pode-se observar na Tabela 28, a correlação foi significativa ao nível de 0,1% para a residência B e para o conjunto de dados das residências A e B. Para a residência A isto não ocorreu possivelmente devido a correlação entre a geração de RSD e o consumo de energia elétrico ter sido bem fraco, segundo Shimakura (2006). Já para a residência C os dados não foram significativos ao nível de 0,1% possivelmente devido ao baixo número de dias estudados (n).

Desta forma, o consumo de energia elétrica não será considerado na tentativa de se estimar a geração de resíduos sólidos domiciliares.

As análises de regressão para os dados de RSD e o consumo de energia elétrica para as residências A, B, C e para as residências A e B em conjunto produziram as equações mostradas nas Figuras 50, 51, 52 e 53.

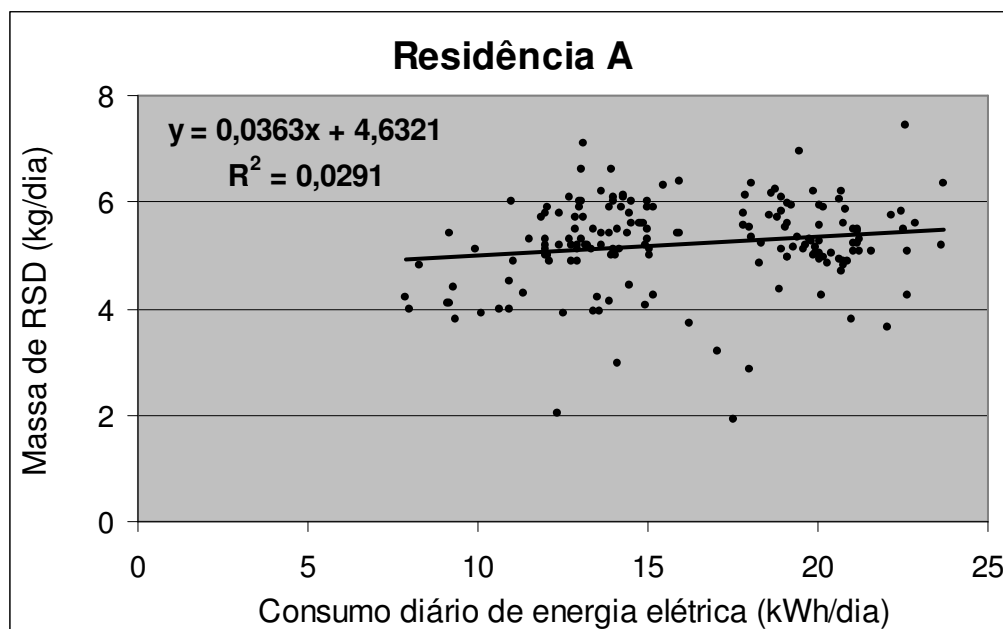


Figura 50: Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência A.

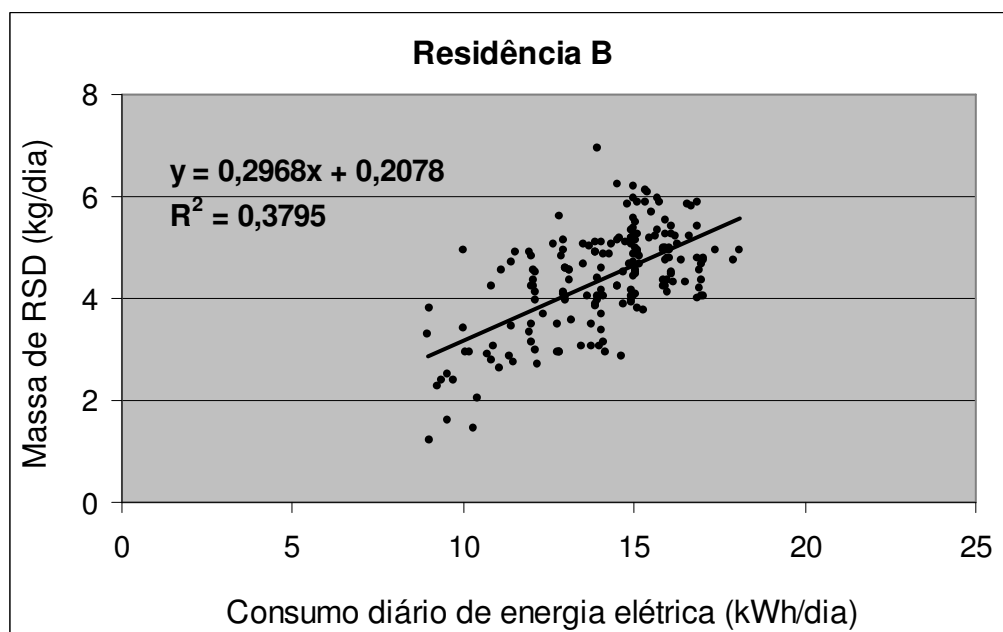


Figura 51: Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência B.

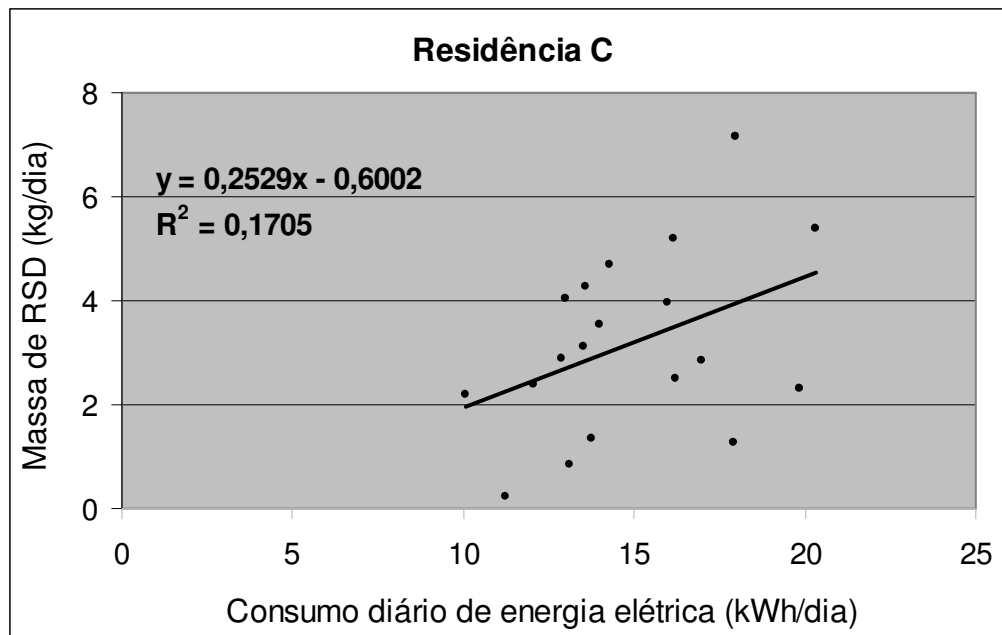


Figura 52: Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência C.

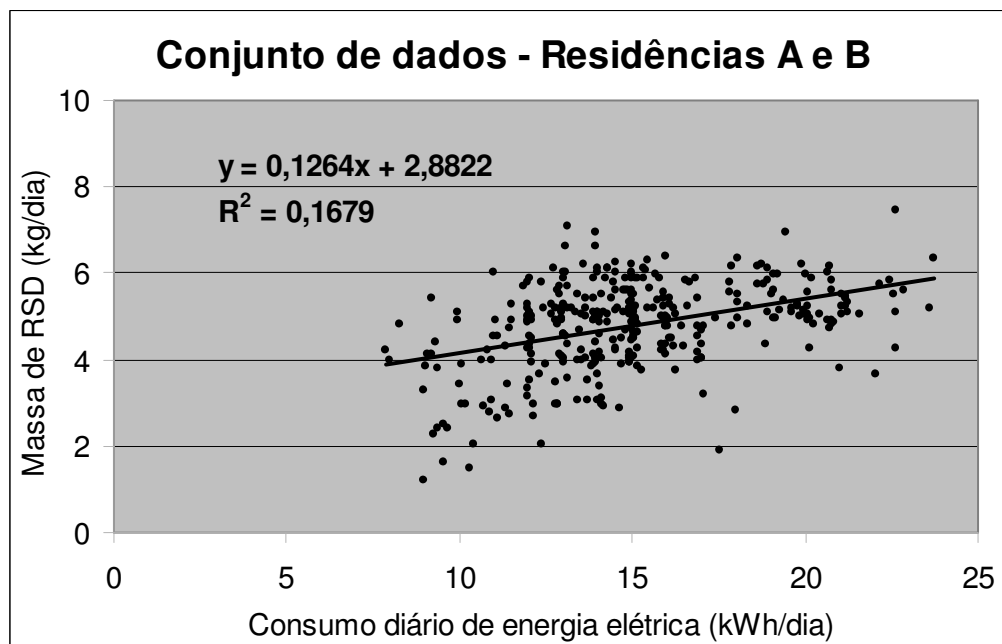


Figura 53: Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência A e B.

### 5.5.2 Correlação entre a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de energia elétrica

Foi estudada nas residências A, B e C e no conjunto de dados das residências A e B a correlação entre a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de energia elétrica, base diária.

A Tabela 29 mostra os coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD *per capita* e o consumo *per capita* de energia elétrica, e suas respectivas significâncias estatísticas, bem como o número de dias estudados (n).

Tabela 29: Coeficientes de correlação entre a taxa de geração de RSD *per capita* e o consumo *per capita* de energia elétrica, suas respectivas significâncias estatísticas e o número de dias estudados (n).

| Residências | Coeficientes de correlação | n   | Níveis de significância estatística |
|-------------|----------------------------|-----|-------------------------------------|
| A           | -0,0027                    | 171 | 0,972                               |
| B           | 0,1576                     | 184 | 0,330                               |
| C           | 0,4129                     | 20  | 0,067                               |
| A e B       | 0,0682                     | 355 | 0,199                               |

Na análise dos dados *per capita* não se identificou correlação significativa ao nível de 0,1% entre os parâmetros de taxa *per capita* de RSD e consumo *per capita* de energia elétrica. Além disso, segundo Shimakura (2006), a correlação encontrada para a residência A, B e para o conjunto de dados das residências A e B apresentaram uma correlação muito fraca.

Desta forma, o consumo de energia elétrica *per capita*, assim como o em termos absolutos, não será considerado na tentativa de se estimar a geração de resíduos sólidos.

As Figuras 54, 55, 56 e 57 mostram as equações obtidas nas análises de regressão para as residências A, B e C e para o conjunto de dados das residências A e B.

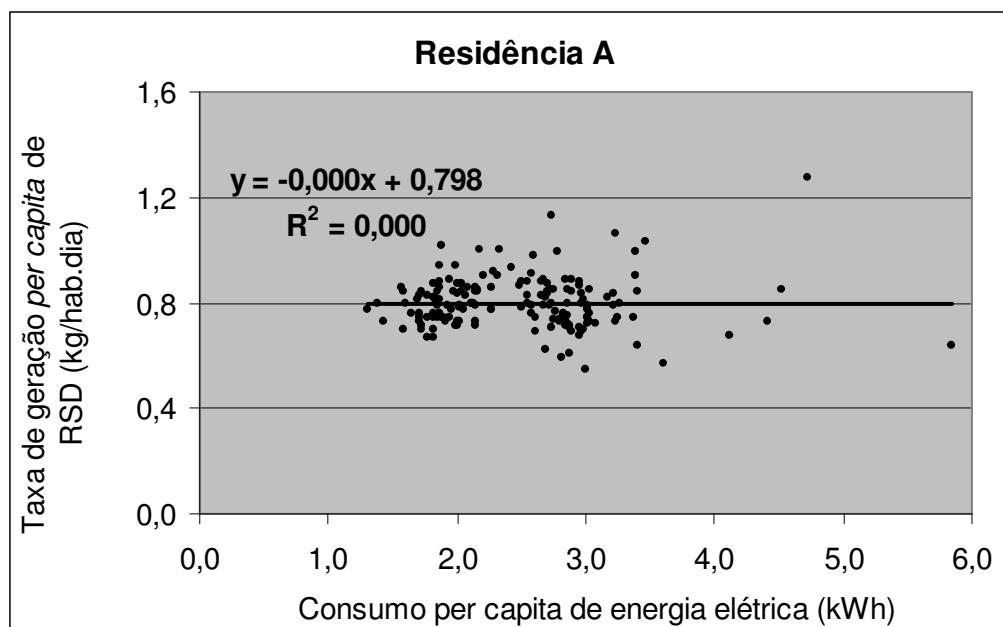


Figura 54: Gráfico de dispersão da massa de RSD e o consumo de energia elétrica para a residência A.

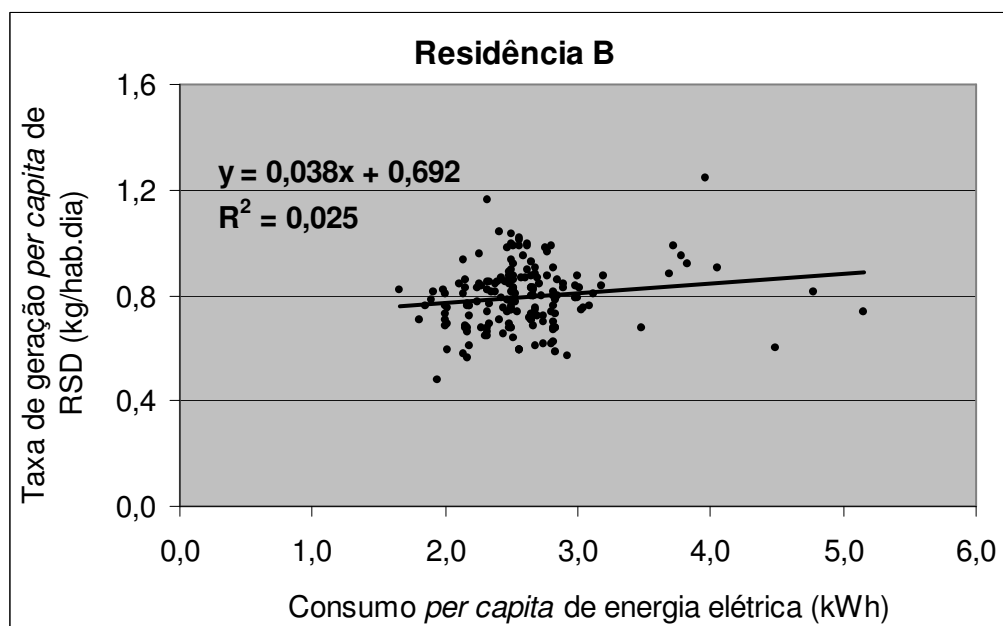


Figura 55: Gráfico de dispersão para a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de energia elétrica da residência B.

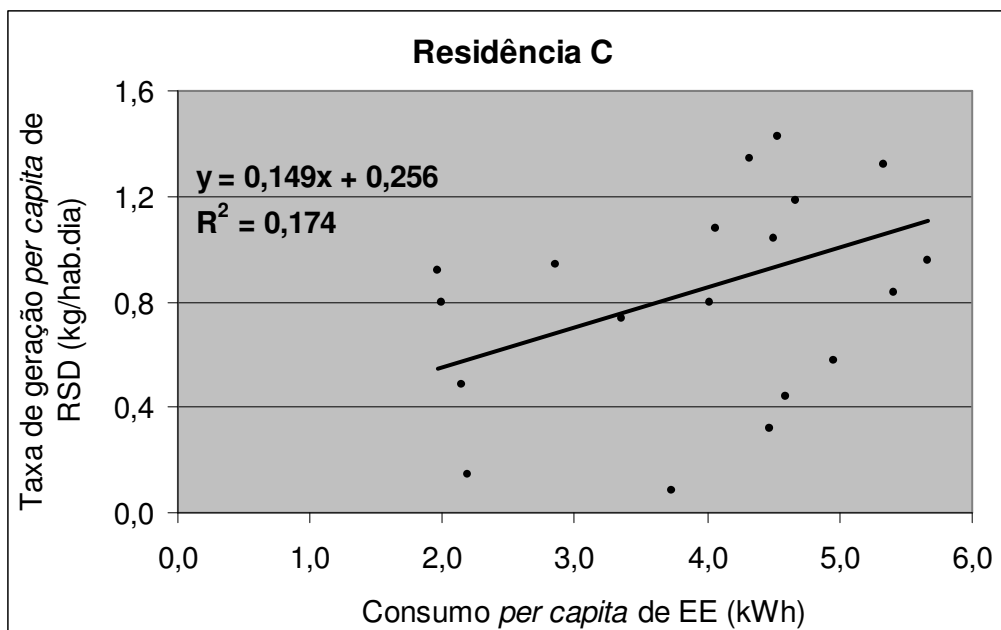


Figura 56: Gráfico de dispersão para a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de energia elétrica da residência C.

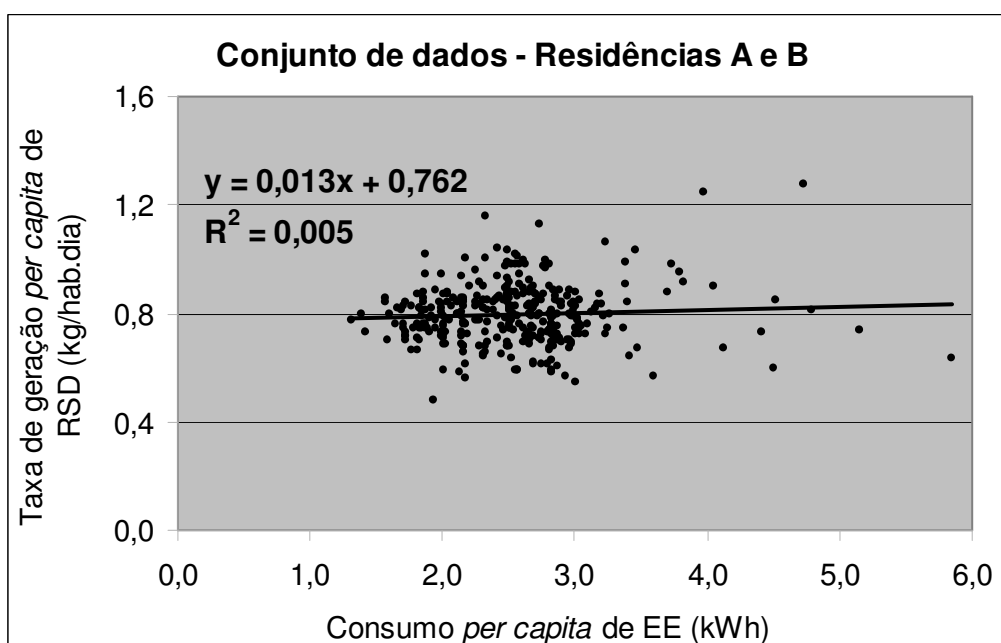


Figura 57: Gráfico de dispersão para a taxa de geração *per capita* de RSD e o consumo *per capita* de energia elétrica das residências A e B.

## 5.6. Modelagem da Geração de RSD

Correlação não necessariamente implica em uma relação causa-efeito. A associação entre duas variáveis pode ser de natureza direta ou indireta (através de uma terceira variável), especialmente quando num grupo de variáveis a maioria está mutuamente associada. O pesquisador tem que escolher as possíveis relações de causa-efeito com bastante cautela (Sokal & Rolf, 1981 *apud* Athayde Jr *et al.* 2008)

A técnica estatística conhecida como *stepwise multiple regression*, apesar de não totalmente satisfatória pode ser empregada para solucionar tal problema. Em tal procedimento, as variáveis entram no (ou saem do) modelo uma de cada vez, com a ordem de entrada (ou saída) baseada em considerações estatísticas e ocorrendo até que a introdução (ou remoção) das variáveis não provoque mudanças significativas no coeficiente de determinação, a um dado nível de significância (Kinnear & Gray, 1997 *apud* Athayde Jr *et al.* 2008).

Para se chegar a um modelo matemático com o qual pode-se estimar a quantidade de resíduos sólidos gerada utilizou-se a Regressão Múltipla *Stepwise* para selecionar o conjunto de variáveis independentes a ser usada no modelo.

Inicialmente tem-se algumas variáveis possíveis de serem utilizadas no modelo. A regressão *stepwise* determina que variáveis serão realmente usadas. O critério para adicionar ou remover uma variável está relacionado com as variáveis que tenham mais correlação com a variável de resposta.

### 5.6.1 Análise dos dados em termos absolutos

Conforme já mencionado, na tentativa de se estabelecer um modelo para se estimar a massa de RSD, tanto em termos absolutos quando *per capita*, procedeu-se a análise múltipla de regressão segundo o modelo *stewise* (*stepwise multiple regression*).

A massa de RSD foi a variável dependente, enquanto que a população (no caso da análise dos dados em termos absolutos), o consumo de água e o consumo de energia elétrica foram as variáveis independentes.

Na Tabela 30 são apresentados os coeficientes de regressão e respectivo coeficiente de determinação para estimativa da massa de RSD em valores absolutos.

Tabela 30: Coeficientes de regressão e respectivo coeficiente de determinação para estimativa da massa de RSD em valores absolutos.

| Residências               | População (hab.) | Cons. de água (m <sup>3</sup> /dia) | Cons. de EE (kWh/dia) | Termo Constante | r <sup>2</sup> |
|---------------------------|------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------|
| A                         | 0,374            | 2,58                                | -                     | -0,045          | 0,652          |
| B                         | 0,357            | 3,14                                | 0,07497               | -0,845          | 0,659          |
| Conjunto de dados (A e B) | 0,558            | 1,19                                | -                     | 0,367           | 0,666          |

Pela Tabela 5.9, pode-se observar que a população e o consumo de água permaneceram no modelo matemático para os 3 casos estudados. Já o consumo de energia elétrica só permaneceu no modelo para o caso da residência B, tendo sido excluído para a residência A e para o conjunto de dados das residências A e B.

Para o caso do conjunto de dados, o modelo de estimativa apresentou a melhor correlação, pois o coeficiente de determinação r<sup>2</sup> foi o maior dentre os casos analisados, apesar de ter sido muito próximo aos demais. Portanto, os valores estimados a partir desse modelo deverão ser próximos aos valores reais.

A partir da análise de regressão acima mencionada, observa-se que a estimativa da massa de RSD gerada por uma população pode ser estimada a partir não apenas do tamanho da população, mas também do consumo de água. Desta forma, chega-se ao seguinte modelo matemático para a estimativa da massa do RSD gerado (r<sup>2</sup>=0,666):

$$\text{MRSD} = 0,558\text{POP} + 1,19\text{CA} + 0,367 \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

MRSD = vazão mássica de resíduos sólidos domiciliares (kg/dia);

POP = população da residência (habitantes);

CA = consumo de água (m<sup>3</sup>/dia).



Apesar de o consumo de água ser função da população, ele também reflete a intensidade de uso da residência, incluindo o tempo de permanência de seus habitantes nela. Por exemplo, se os habitantes de alguma residência não permanecem nela ao longo do dia, a massa de RSD gerada e o consumo de água desta residência possivelmente serão menores do que os de outra na qual os habitantes permaneçam grande parte do dia.

No trabalho desenvolvido por Athayde Jr. *et al.* (2007, 2008), estes autores também elaboraram um modelo matemático para estimativa de RSD em que as variáveis independentes foram a população e o consumo de água (ver Eq. 2)

### 5.6.2 Análise dos dados em termos *per capita*

Na tabela 31 são apresentados os coeficientes de regressão e respectivo coeficiente de determinação para estimativa da massa de RSD em valores *per capita*.

Tabela 31: Coeficientes de regressão e respectivo coeficiente de determinação para estimativa da massa de RSD em valores *per capita*.

| Residências               | Cons. de água<br>(m <sup>3</sup> /hab.dia) | Cons. de EE<br>(kWh/hab.dia) | Termo constante | r <sup>2</sup> |
|---------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|
| A                         | 2,38                                       | -                            | 0,399           | 0,277          |
| B                         | 3,75                                       | -                            | 0,315           | 0,137          |
| Conjunto de dados (A e B) | 1,23                                       | -                            | 0,615           | 0,090          |

No caso da análise dos dados em termos *per capita*, não foi incluída a população como variável independente, já que nesse caso a população não varia, é sempre referente a uma pessoa.

Observa-se pela análise da Tabela 31 que em todos os casos estudados permaneceu no modelo matemático apenas o consumo de água, sendo excluído o consumo de energia elétrica.

Percebe-se ainda que na análise *per capita*, diferentemente da análise em termos absolutos, o modelo não apresentou elevado coeficiente de correlação em nenhum

dos casos estudados, sendo, inclusive, o coeficiente do conjunto de dados menor que no caso das residências estudadas separadamente.

Desta forma, considerou-se confiáveis para aplicação do modelo matemático apenas os dados com os valores absolutos.

### **5.7. Proposição de metodologia alternativa para o cálculo da TCR**

Na Lei Complementar 16/1998, alterada pela Lei Complementar 62/2010, que tratam da Taxa de Coleta de Resíduos na cidade de João Pessoa, o fator de enquadramento (em razão da produção de resíduos), conforme mostrado na Tabela 8 é função da área construída do domicílio. Entende-se que este parâmetro pode estar indiretamente relacionado com a produção de resíduos, uma vez que quanto maior a população do domicílio, o que provavelmente é acompanhado de uma também maior geração de resíduos, mais área é necessário para acomodação da mesma população. Porém isto nem sempre acontece em virtude de discrepâncias relacionadas ao poder aquisitivo domiciliar, quando uma família de alto poder aquisitivo reside em uma grande moradia, podendo ter um número reduzido de pessoas. Analogamente, populações de baixa renda, que moram em residências pequenas, podem conter um número elevado de pessoas.

Pode-se substituir a área construída do domicílio pela quantidade de resíduos gerada. Na tabela 8, os coeficientes de área construída podem ser substituídos por coeficientes de massa de RSD gerada, tal como mostrado na Tabela 32.

Para a equivalência entre as Tabelas 8 e 32, considerou-se que uma área de 500m<sup>2</sup> (limite da última faixa) equivaleu a uma geração de 250 kg/mês de RSD. Para se chegar a esse número, considerou-se uma população de 10 pessoas (para simular uma residência de grande área) com taxa de geração *per capita* de 0,8kg.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. Isto resultaria em 240 kg/mês, que para efeito de adequação à Tabela 8 foi aproximado para 250 kg/mês.

Para uso da Tabela 32 pode-se fazer uso do modelo aqui proposto (Eq. 4). Muito embora o consumo de água utilizado no modelo proposto para a estimativa da geração de RSD ser também de relação indireta através da população, como o é a área construída do domicílio, o primeiro tem a vantagem de dar idéia do quantitativo

populacional e respectiva intensidade de uso que este quantitativo populacional exerce no domicílio, diferentemente da área construída do domicílio.

Tabela 32: Fator de Enquadramento do imóvel, de acordo com a quantidade de resíduos gerada.

|    | <b>Massa (kg/mês)</b> | <b>Fe</b> |
|----|-----------------------|-----------|
| De | 0,01-12,50            | 0,1290    |
| De | 13,00-25,00           | 0,2166    |
| De | 25,5-37,50            | 0,5314    |
| De | 38,00-50,00           | 0,6924    |
| De | 50,50-75,00           | 0,9279    |
| De | 75,50-100,00          | 1,3754    |
| De | 100,50-125,00         | 2,0359    |
| De | 125,50-150,00         | 2,6869    |
| De | 150,50-175,00         | 3,3698    |
| De | 175,50-200,00         | 4,1084    |
| De | 200,50-225,00         | 4,6352    |
| De | 225,50-250,00         | 5,5857    |

Como exemplo de uso desta metodologia alternativa, apresenta-se a seguir o caso de uma residência com 4 habitantes, considerando-se o consumo médio de água *per capita* de 150L/d, valor esse encontrado para as residências estudadas. Desta forma, substituindo-se esses valores no modelo (Eq. 4), tem-se:

$$\text{MRSD} = 0,558\text{POP} + 1,19\text{CA} + 0,367$$

$$\text{MRSD} = 99,39 \text{ kg/mês}$$

Com o valor estimado para a massa, encontra-se o Fator de Enquadramento através da Tabela 32, o qual se utiliza na Eq.1 para o cálculo da TCR, que neste caso seria de 1,3754.

|    | Massa (kg/mês) | Fe     |
|----|----------------|--------|
| De | 0,01-12,50     | 0,1290 |
| De | 13,00-25,00    | 0,2166 |
| De | 25,5-37,50     | 0,5314 |
| De | 38,00-50,00    | 0,6924 |
| De | 50,50-75,00    | 0,9279 |
| De | 75,50-100,00   | 1,3754 |
| De | 100,50-125,00  | 2,0359 |
| De | 125,50-150,00  | 2,6869 |
| De | 150,50-175,00  | 3,3698 |
| De | 175,50-200,00  | 4,1084 |
| De | 200,50-225,00  | 4,6352 |
| De | 225,50-250,00  | 5,5857 |

Para o caso das edificações multifamiliares (edifícios de apartamentos), o procedimento é o mesmo, no entanto a equação utilizada seria a Eq. 2 encontrada por Athayde Jr *et al.* (2008) em um trabalho desenvolvido para edificações deste tipo.

No caso das edificações multifamiliares, consideramos, a título de exemplo, um prédio de 20 apartamentos, cada um com 4 habitantes. Nestes tipos de edificações, o consumo *per capita* de água é maior, sendo 200 L/d, o que resultaria em 16 m<sup>3</sup>/dia para a edificação como um todo. Desta forma, substituindo os valores na fórmula, encontraríamos:

$$\text{MRSD} = 0,0697\text{POP} + 2,28\text{CA} - 7,25$$

$$\text{MRSD} = 1044 \text{ kg/mês (prédio)}$$

$$\text{MRSD} = 52,21 \text{ kg/mês (apartamento)}$$

Com o valor estimado para a massa, encontra-se o Fator de Enquadramento através da Tabela 32, o qual se utiliza na Eq.1 para o cálculo da TCR, que neste caso seria de 0,9279.

|    | Massa (kg/mês) | Fe     |
|----|----------------|--------|
| De | 0,01-12,50     | 0,1290 |
| De | 13,00-25,00    | 0,2166 |
| De | 25,5-37,50     | 0,5314 |
| De | 38,00-50,00    | 0,6924 |
| De | 50,50-75,00    | 0,9279 |
| De | 75,50-100,00   | 1,3754 |
| De | 100,50-125,00  | 2,0359 |
| De | 125,50-150,00  | 2,6869 |
| De | 150,50-175,00  | 3,3698 |
| De | 175,50-200,00  | 4,1084 |
| De | 200,50-225,00  | 4,6352 |
| De | 225,50-250,00  | 5,5857 |

### 5.8. Variações da taxa de geração de RSD ao longo dos dias da semana

Foram estudadas nas residências A e B as variações de geração de RSD ao longo dos dias da semana. Na residência C, devido à pequena quantidade de dados, não foi realizada essa análise.

Para análise da variância, utilizou-se o método GT-2 (Sokal e Rohlf, 1981) com nível de significância de 5%. Segundo este método, os intervalos cujos limites se sobrepõem não têm médias significativamente diferentes entre si.

As Figuras 58, 59 e 60 mostram a variação semanal da taxa de geração *per capita* de RSD para as residências A, B e para o conjunto de dados das residências A e B, respectivamente.

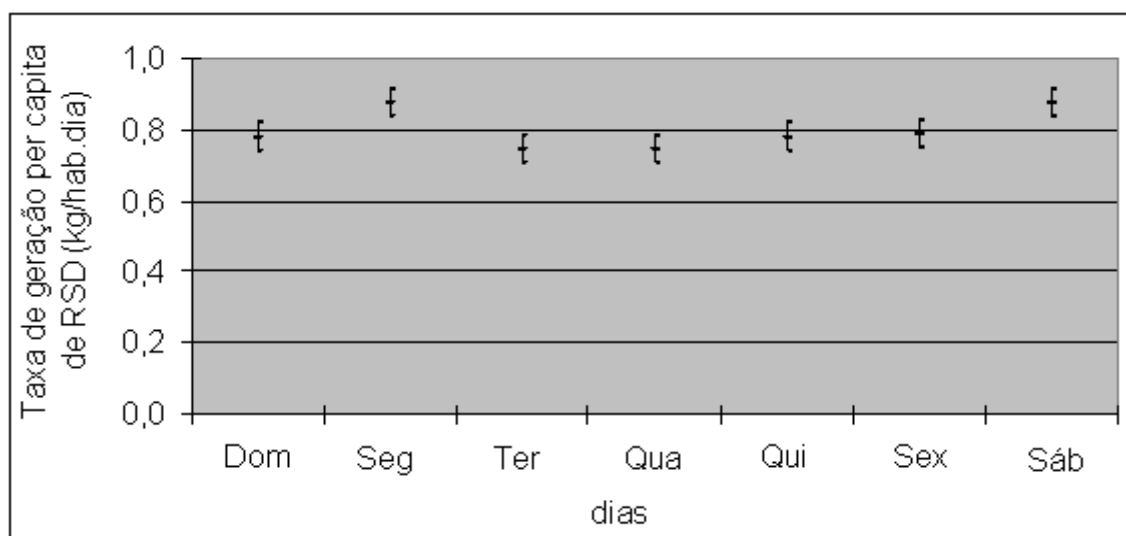


Figura 58: Variação semanal da taxa de geração *per capita* de RSD na residência A.

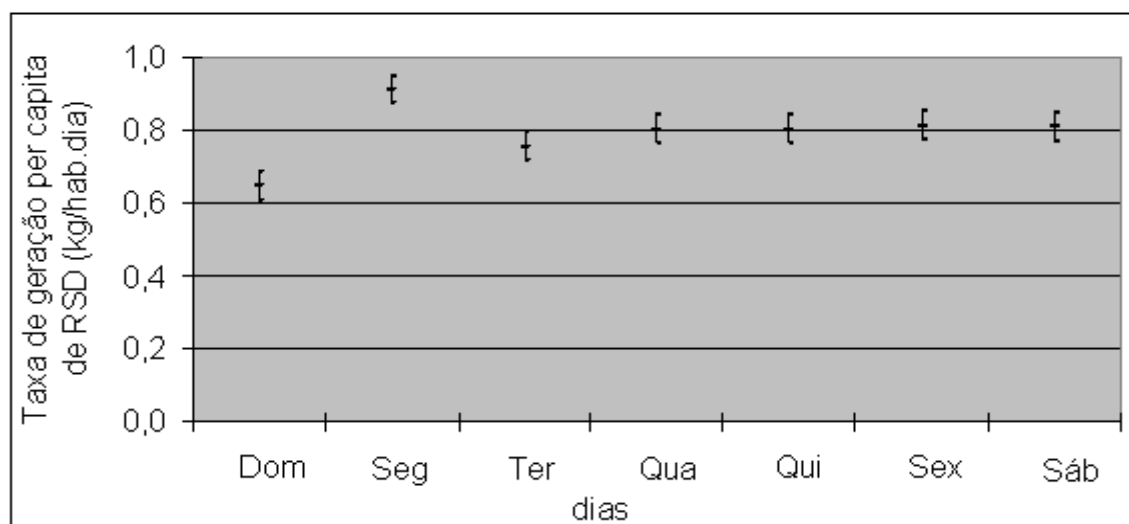


Figura 59: Variação semanal da taxa de geração *per capita* de RSD na residência B.

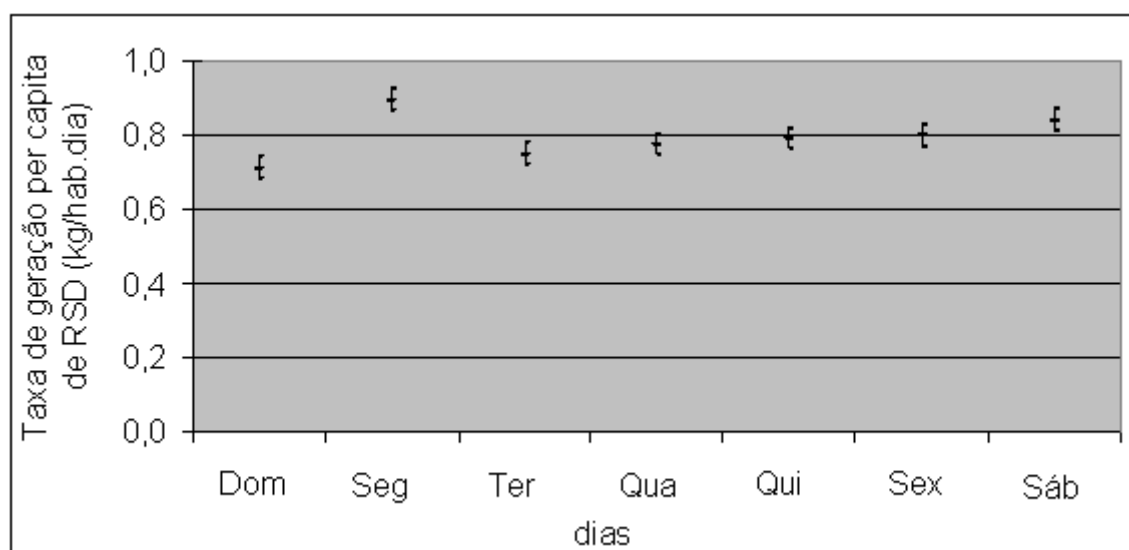


Figura 60: Variação semanal da taxa de geração *per capita* de RSD nas residências A e B.

Na residência A, dos 28 casos possíveis de comparação, existiram diferenças significativas ao nível de 5% entre a segunda-feira e os demais dias da semana, exceto o sábado, e entre o sábado e os demais dias da semana, exceto a segunda.

Na residência B, a segunda foi o dia com maior produção de resíduos com diferenças significativas ao nível de 5% quando comparado com os demais dias da semana. Já o domingo foi o dia de menor consumo quando comparada com os demais dias da semana.

Nas residências A e B em conjunto, o dia de maior produção de RSD também foi a segunda-feira, com diferenças significativas em relação a todos os dias da semana, exceto ao sábado. Já o dia de menor produção de RSD foi o domingo, com diferença significativa quando comparado com todos os dias da semana, exceto a terça.

Em resumo, o que se pode observar da análise dos dados é que nas segundas-feiras e sábados houve uma maior produção *per capita* de RSD. A menor produção *per capita* de RSD, por sua vez, se deu aos domingos.

O fato de o domingo ter a menor produção de RSD quando comparado com os demais dias da semana (exceto a terça) perde a importância, em termos práticos, pelo fato de que os RSD gerados no domingo são geralmente coletados na segunda-feira.

Foi então feita a análise dos dados considerando a massa de RSD gerada no domingo e na segunda-feira como coletada em um único dia (segunda-feira). Na Figura 58 são apresentadas as variações semanais da taxa de geração *per capita* de RSD para o conjunto de dados das residências A e B, somando-se os RSD da segunda e do domingo.

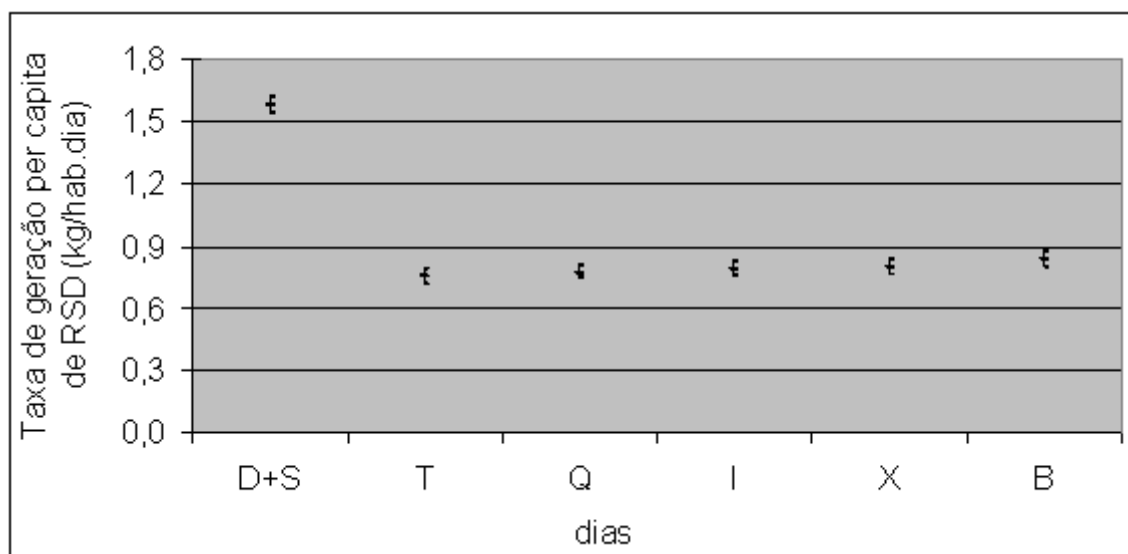


Figura 61: Variação semanal da taxa de geração *per capita* de RSD para o conjunto de dados das residências A e B, somando-se os RSD da segunda e do domingo.

Como pode-se observar na Figura 59, somando-se os RSD de domingo e segunda, a quantidade de RSD a ser coletada é significativamente superior a todos os outros dias. A taxa de geração *per capita* de RSD considerando-se o domingo e a segunda-feira em conjunto foi 1,9 vezes maior que a média dos demais dias da semana.

Para efeito de dimensionamento de frota de coleta de resíduos e considerando que não há coleta aos domingos, a frota da segunda-feira deve ser aumentada 1,9 vezes.

### 5.9 Abrangência do trabalho e recomendações de pesquisas futuras

É reconhecido que os resultados deste trabalho podem ser aplicados apenas para residências do mesmo padrão das que foram aqui estudadas, ou seja, classe A, segundo a classificação da FGV. Outra limitação é o número reduzido de residências nas quais os dados foram levantados. Recomenda-se, dessa forma, que seja dada continuidade à pesquisa, levando-se em consideração um maior número de residências e incluir residências de outras classes sócio-econômicas.



## 6. Conclusões

A taxa de geração de resíduos sólidos para residências unifamiliares na cidade de João Pessoa é de aproximadamente 800 g/hab.dia, valor este próximo ao sugerido pela literatura que aponta que para cidades com a população da cidade de João Pessoa a estimativa de geração *per capita de* RSD é de 700 g/hab.dia. Comparando-se os resultados deste trabalho (edificações unifamiliares) com outro desenvolvido junto a edificações multifamiliares (edifícios de apartamentos), constatou-se que a taxa de geração per capita de RSD é maior (60% maior) em residências unifamiliares (casas) que edificações multifamiliares. Este fato pode estar relacionado à existência de jardins e quintais no primeiro tipo de residência, os quais não existem em apartamentos.

Com relação à variação da taxa de geração de RSD, percebeu-se que não existem diferenças significativas entre a maioria dos dias da semana. As únicas exceções foram a segunda-feira com tal taxa significativamente diferente (maior) que os demais dias da semana (exceto o sábado), a do sábado, que foi significativamente diferente (maior) daquela da terça-feira, e a do domingo, que foi significativamente diferente da dos demais dias da semana, exceto a da terça-feira. Por outro lado, como é comum não haver coleta de RSD no domingo, situação em que os resíduos gerados neste dia são coletados juntamente com os gerados na segunda-feira, a soma dos RSD gerados nestes dois dias é significativamente diferente (maior) que as quantidades geradas nos demais dias da semana. Neste caso, justifica-se um reforço na frota de coleta na segunda-feira de 1,9 vezes a média dos outros dias.

Os resultados mostraram ser possível estimar a quantidade de RSD gerados em um domicílio a partir de indicadores de consumo do mesmo. Dentre os indicadores estudados, apenas o consumo de água se mostrou satisfatório para este fim. Dessa forma, foi proposto um modelo matemático para estimativa da geração de RSD que teve como variável independente o consumo de água, além da população do domicílio. Com o modelo proposto foi possível elaborar uma metodologia alternativa para o cálculo da TCR, baseando-se não mais na área construída do domicílio, mas sim na quantidade estimada de RSD.

## 7. Bibliografia

AFON, Abel O.; OKEWOLE, Afolabi. Estimating the quantify of solid waste generation in Oyo, Nigeria. *Waste Management & Research*, Res 2007: 25:p. 371–379.

ALSAMAWI, Adnan A.; ZBOON, Abdul Razzak T.; ALNAKEEB, Aumar. *Estimation of Baghdad Municipal Solid Waste Generation Rate*. Eng. & Tech. Journal ,Vol.27, No.1, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ATHAYDE JR., Gilson Barbosa; BESERRA, Leila Brunet de Sá; FAGUNDES, Giulliano de Souza. Sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares em bairros de classe média e alta de João Pessoa. *Revista de Estudo Ambiental*, v.9, n.2, p. 73-88, jul./dez. 2007.

ATHAYDE JR., Gilson Barbosa; BESERRA, Leila Brunet de Sá; FAGUNDES, Giulliano de Souza. Estimando a geração de resíduos sólidos domiciliares a partir do consumo de água em edifícios multifamiliares. *Rev. Tecnol. Fortaleza*, v. 29, n. 2, p.125-133, dez. 2008.

CARNEIRO, André Luiz de Andrade. A taxa de lixo e seus aspectos legais. *Jus Navegandi, Teresina, ano 8, n. 62, 1 fev. 2003*. Disponível em: <<http://jus.uol.com.br/revista/texto/3693>> (Acesso em: 28/09/2010).

DANGI, M. B., URYMOWICZ, M. A.; GEROW, K. G.; THAPA, R. B. Use of stratified cluster sampling for efficient estimation of solid waste generation at household level. *Waste Management & Research*, vol. 26, pp 493-499. 2008.

D'ELLA, D.M.C. Relação entre utilização de água e geração de resíduos sólidos domiciliares. *Revista Saneamento Ambiental*, São Paulo, nº 65, p.38-41, mai. 2000.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (2009), disponível em: <<http://cps.fgv.br/pt-br/node/8829>> (Acessado em 05/10/2010).

IPT. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas / CEMPRE, 1995. 236 p.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ (2008), disponível em: <<http://www.pr.gov.br>> (Acessado em 23/10/2010)

JOÃO PESSOA. LEI COMPLEMENTAR nº 16/1998, de 29 de dezembro de 1998, disponível em: <[http:// www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao](http://www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao)> (Acessado em 15/09/2010).

JOÃO PESSOA. LEI COMPLEMENTAR nº 62/2010, de 10 de dezembro de 2010, disponível em: <[http:// www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao](http://www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao)> (Acessado em 15/09/2010).

JUSBRASIL – NOTÍCIAS JURÍDICAS, disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br>> (Acessado em 04/09/2010)

KINNEAR, Paul R.; GRAY, D. Colin. SPSS for Windows made simple. East Sussex, U.K. Psychology Press Ltd. 2<sup>nd</sup> ed., 1997. 386 p.

LEITE, Marcelo Fonseca. A taxa de coleta de resíduos sólidos domiciliares: uma análise crítica. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – USP, São Paulo. 2006. 106p.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ, disponível em : <<http://www.mp.pr.gov.br>> (Acessado em 28/10/2010). 2008.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO PARANÁ, disponível em : <<http://www.mp.pr.gov.br>> (Acessado em 28/10/2010). 2009.

NÓBREGA, Cláudia Coutinho. Viabilidade Econômica, com Valoração Ambiental e Social de Sistemas de Coleta Seletiva - estudo de caso: João Pessoa / PB. 2003. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - UFCG/CCT, Campina Grande. 2003. 177 p.

PICKIN, J. Unit pricing of household garbage in Mellbourne: improving welfare, reducing garbage or neither? Waste Management & Research, vol. 26, pp. 508-514. 2008.

PHILIPPI JR, Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de Andrade e BRUNA, Gilda Collet. Curso de Gestão Ambiental. Barueri, SP: Manole, 2004.

R7. Prefeituras mudam cobrança da taxa do lixo em 2010. Disponível em:<<http://noticias.r7.com/cidades/noticias/prefeituras-mudam-cobranca-da-taxa-do-lixo-em-2010-20091003.html>> (Acessado em 22/10/2010). 2009.

SHIMAKURA, Silvia. Interpretação dos valores de correlação por faixa. Departamento de Estatística-UFPR; CE003 - Estatística II. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/.2006>>. (Acessado em 22/10/2010). 2006.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - 2007 (SNIS), disponível em: <<http://www.snis.gov.br>> (Acessado em 21/01/2010). 2007.

SLOMP, Mario N. Taxa de lixo junto à tarifa de água/esgoto - uma forma alternativa de cobrança. Revista Limpeza Pública. ABLP - Associação Brasileira de Limpeza Urbana. São Paulo, n.50, p. 11-16, janeiro. 1999.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. 2nd ed. New York: W. H. Freeman, 1981.

TCHOBANOGLOUS, G *et al.* (1993). *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. EUA: McGraw-Hill.

VICENTINI, F.; GIUSTI, A.; ROVETTA, A.; FAN, X.; HE, Q.; ZHU, M.; LIN, B. Sensorized waste collection container for content estimation and collection optimization. Waste Management, vol. 29, pp 1467-1471. 2009.

VIJAY, R.; GUPTA, A.; KALANDHADD, A. J.; DEVOTTA, S. *Estimation and allocation of solid waste to bin through geographical information systems*. Waste Management Research, vol. 23, pp. 479-484. 2008.