

## ESTUDO DE MODELAGEM ESTATÍSTICA APLICADA A QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) PARA USO EM OBRAS VIÁRIAS

A. M. G. AZEVEDO<sup>1</sup> e E. F. AMORIM<sup>2</sup>

E-mail: aracellyguerra@gmail.com<sup>1</sup>; enio.amorim@ifrn.edu.br<sup>2</sup>

### RESUMO

A importância da indústria da construção civil é incontestável. No âmbito econômico, o setor é um dos grandes representantes no Produto Interno Bruto – PIB, chegando a ser classificado como “setor-chave” para a economia brasileira; do ponto de vista social, seu valor está na capacidade de incorporar mão de obra, gerando empregos diretos e indiretos. Entretanto, a construção civil aparece no cenário nacional como a maior consumidora de matérias-primas naturais. Assim, o setor é considerado um dos grandes geradores de resíduos, denominados Resíduos de Construção e Demolição – RCD. A disposição final desse resíduo ocorre, na maioria das vezes, de forma irregular, desencadeando problemas

de ordem ambiental e de saúde pública, uma vez que são despejados em locais inadequados que oferecem as condições necessárias para proliferação de vetores de patogênicos. Assim, atrelada a essa problemática, surge a proposta de utilização de RCD após sua reciclagem e devidamente associado ao solo, em camadas de base e sub-base de pavimentação. Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo desenvolver uma modelagem estatística que possa auxiliar na quantificação do RCD, visando, a posteriori, promover a sua avaliação de viabilidade econômica em relação ao seu aproveitamento em obras viárias.

**PALAVRAS-CHAVE:** construção civil; RCD; pavimentação.

## STUDY OF STATISTICAL MODELING APPLIED TO MEASUREMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTES (CDW) FOR USE IN ROAD WORKS

### ABSTRACT

The importance of the construction industry is undeniable. In the economic sphere, the sector is one of the greatest representatives of the Gross Domestic Product - GDP, coming to be classified as a "key sector" for the Brazilian economy, the social point of view, its value lies in its ability to incorporate labor, generating direct and indirect jobs. However, the construction appears on the national scene as the largest consumer of natural raw materials. Thus, the industry is considered one of the major generators of waste, called Waste Construction and Demolition - CDW. The disposal of this waste occurs, most often,

irregularly, triggering problems of environmental and public health, since they are dumped in inappropriate places that offer the necessary conditions for vector proliferation of pathogens. Thus, linked to this problem arises the proposed use of CDW after recycling and properly associated with the soil in layers of base and sub-base paving. In this context, this research aims to develop a statistical model that can assist in quantifying the CDW in order, subsequently, to promote their economic viability assessment in relation to its use in road works.

**KEY-WORDS:** construction; CDW; paving.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a expansão das regiões metropolitanas e a crescente busca por construções residenciais, industriais, rodoviárias e obras de infraestrutura, ficou evidente a importância da atividade civil no avanço do país e a influência do mesmo no meio ambiente urbano. Entretanto, é de conhecimento de todos que essa interferência no meio ambiente é considerada, em grande parte, nociva. Chegou-se a tal conclusão após longas discussões de que o setor colabora diretamente para a futura escassez dos recursos naturais, contamina o solo e a água, altera as características da paisagem natural e, indubitavelmente, produz em larga escala resíduos.

O setor civil gera impactos ambientais em todas as etapas da produção, da extração da matéria-prima à demolição, bem como na disposição final de seus resíduos. Atualmente, uma porção considerável dos descartes de RCD acontece de forma irregular em extensões de terrenos baldios ou ao longo de cursos d'água, o que provoca não somente danos ambientais, mas também custo de limpeza pública. Alguns dos impactos citados são visíveis e provocam comprometimento total/parcial do meio urbano e desordem no tráfego de veículos e pedestres.

Dentre as várias estratégias que podem ser seguidas para atenuar a problemática da geração excessiva de RCD, aparece a reutilização do mesmo em camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários. MOTTA (2005) realizou estudos de RCD para aplicação em pavimento de baixo volume de tráfego e concluiu ser promissor seu uso em bases, sub-bases e reforços do subleito (YSHIBA et al., 2011). Visto a problemática, a presente pesquisa pretende desenvolver um modelo tal que possa auxiliar na quantificação do RCD, avaliando, em momento posterior, a viabilidade econômica quando do seu aproveitamento em obras de pavimentação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Resíduos da Construção e Demolição – RCD

#### 2.1.1 Definição e Classificação

Os resíduos procedentes da construção civil são vulgarmente designados entulhos. Segundo FERREIRA (1999), entulho significa calça, pedregulho, areia, terra, tudo quanto sirva para entupir, aterrar, nivelar depressão de terreno, escavação, fossa, vala, etc.; conjunto de fragmentos ou restos de tijolo, argamassa, madeira, etc., provenientes da construção de um prédio; materiais inúteis resultantes de demolição; escombros, ruínas.

Conforme o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução nº 307 em seu Artigo 2º, de 5 de julho de 2002, resíduos da construção são aqueles advindos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem. A composição do RCD engloba tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solos, gesso, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados,

forros, argamassa, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, dentre outros.

Segundo a Resolução CONAMA supracitada, os resíduos ainda são classificados em quatro classes (A, B, C e D) segundo as possíveis formas de tratamento. Os resíduos que se enquadram na classe A são os reutilizáveis ou recicláveis como agregados, ou seja, os que estão ligados a este estudo.

### 2.1.2 Geração de RCD e suas Aplicações

De acordo com LEVY (1997), os RCD têm sua origem em:

- Catástrofes naturais ou artificiais (incêndios, desabamentos, bombardeios, entre outros);
- Demolições de pavimentos rodoviários de concreto ou de obras que chegaram ao final de sua vida útil;
- Deficiências inerentes ao processo construtivo empregado nos dias de hoje e à baixa qualificação da mão-de-obra.

Conforme os critérios do gerenciamento de resíduos, a não geração deve ser priorizada, seguida da redução. No entanto, uma vez que produzidos, a reciclagem tem se mostrado como uma opção exequível, sendo possível então de ser empregada com o objetivo de reduzir os impactos negativos no meio ambiente. Os principais benefícios com a reciclagem de resíduos são a redução na procura por recursos naturais e a utilização de um material que, provavelmente, teria destinação final inadequada.

Segundo MARQUES NETO (2004), as principais aplicações de RCD reciclados são em pavimentação e como agregado para concreto e para argamassas. Em menor proporção, esses resíduos também são utilizados em cascalhamento, preenchimento de vazios em construções e reforço de aterros.

A utilização de agregados advindos de RCD reciclado como base ou sub-base de pavimentos, devido sua importância, está sendo tema de várias pesquisas desenvolvidas no Brasil, como BAGATINI (2011), FERREIRA (2009), BERNUCCI (2005), YSHIBA (2011), dentre outros. E, cidades como São Paulo e Belo Horizonte, já realizaram testes experimentais e foram bem sucedidas na utilização de agregados provenientes de RCD reciclado em larga escala (PINTO, 1999).

ZORDAN (2002) mostra algumas vantagens da aplicação de RCD reciclado em pavimentação:

- Menor utilização de tecnologia e com menor custo operacional;
- Economia de energia na moagem, por manter a granulometria consideravelmente graúda;
- Maior utilização de resíduos oriundos de pequenas obras e demolições que não reciclam seus resíduos no próprio canteiro;
- Maior eficiência dos RCD em relação às britas na adição com solos saprolíticos.

### 3 METODOLOGIA

A princípio foram pesquisados municípios brasileiros que tivessem algum registro da geração per capita (kg/hab/dia) de RCD. Como dito em momento anterior, uma das dificuldades encontradas nesta pesquisa foi justamente o fato de não haver um acervo significativo desses dados disponível, sendo este um provável indicador expressivo da falta de gestão de resíduos da construção e demolição.

Dos 5.570 municípios brasileiros, apenas 13, aproximadamente, possuem informações sobre a produção de entulho. Estes, por sua vez, possibilitaram o desenvolvimento desta atividade. Os municípios são: Belo Horizonte (MG), Brasília (DF), Campinas (SP), Chapada dos Guimarães (MT), Florianópolis (SC), Jundiaí (SP), Maceió (AL), Ribeirão Preto (SP), Salvador (BA), Santo André (SP), São José do Rio Preto (SP), São José dos Campos (SP) e Vitória da Conquista (BA).

Tendo os municípios em mãos, foram analisadas variáveis que afetassem direta ou indiretamente o processo de geração de RCD. As informações selecionadas foram: Produto Interno Bruto (PIB) do setor da indústria - que engloba o setor da construção civil, a renda da população local, a taxa de crescimento populacional e a população. A seguir, apresenta-se a justificativa para a escolha de cada um dessas variáveis e a possível relação com a produção de resíduos:

- PIB do setor da indústria - o PIB, como valor que representa a soma de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região durante um período, contribuiu para esta pesquisa sendo um fator bastante influente na geração de resíduos da construção civil. Comparativamente a outros setores da economia, o ramo civil detém participação relevante no PIB e na População Economicamente Ativa (PEA) do país.
- Renda da população local - esta variável auxilia na perspectiva de facilitar a percepção do perfil da população local. Devido ao grande crescimento econômico das diversas classes sociais, passou a existir uma busca maior e ao mesmo tempo diferenciada de imóveis.
- Taxa de crescimento populacional e População - assim como a renda, a taxa de crescimento populacional e a população vão determinar uma maior ou menor demanda por imóveis, reformas, etc.

Os dados utilizados foram encontrados em literaturas como a de PINTO (1999), ROCHA (2006), bem como em censos promovidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nos anos de 2000 e 2010.

Posteriormente, as informações conseguidas foram organizadas em tabelas conforme per capita crescente e devidamente identificados quanto ao respectivo ano de pesquisa. Em seguida, passaram por um tratamento estatístico, com o intuito de verificar média, mediana, moda e desvio-padrão de todos os dados em questão, e não somente da geração per capita de RCD. Para melhor visualização do comportamento dos municípios em relação a cada variável, foram utilizados gráficos com os dados do município e sua respectiva média.

Por fim, foi realizado o cruzamento das variáveis em gráficos, traçadas as linhas de tendências e verificados os graus de regressão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Grande parte dos resultados foi obtida através da modelagem de gráficos que relacionaram o per capita e as variáveis consideradas (PIB, taxa de crescimento populacional, renda e população), sendo esses gráficos definidos pelas classes ou levando em consideração a totalidade dos dados. Em seguida, foi utilizado o método estatístico da “Regressão”, traçadas as linhas de tendências, e, assim, analisados os comportamentos da variável presente no eixo “y”, que no caso sempre será a geração per capita de RCD, em função da variável do eixo “x”.

### 4.1 Gráficos das variáveis e suas respectivas médias

O objetivo principal em fazer esses gráficos estava no fato de visualizar melhor quais os municípios estavam interferindo mais no desvio-padrão. A seguir são ilustrados os gráficos do per capita (Figura 1) e do PIB (Figura 2).

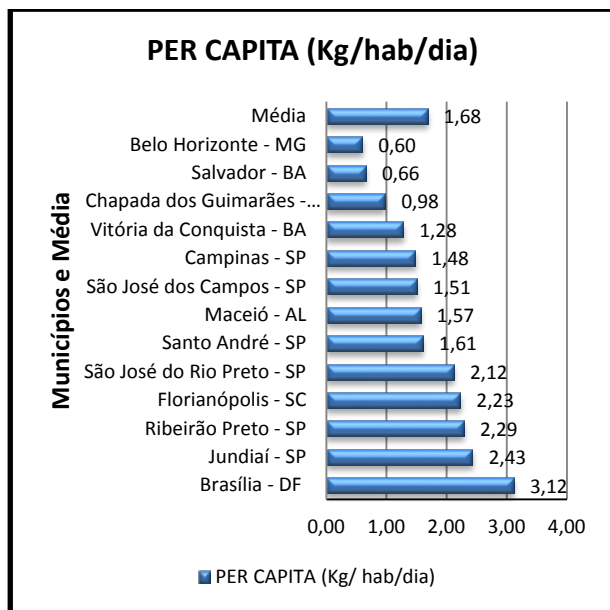


Figura 1. per capita dos municípios e média.

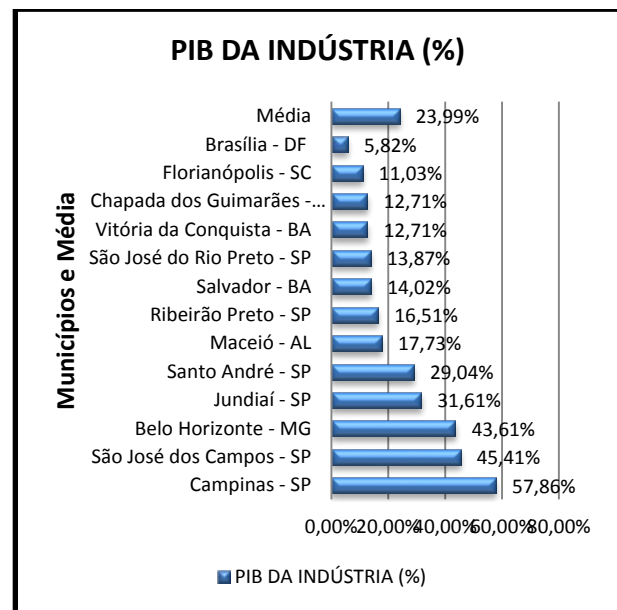


Figura 2. PIB dos municípios e média.

Pode-se observar, por exemplo, que a média encontrada na variável PIB foi de 23,99%, mas, em contrapartida, existem municípios como Brasília que detêm um produto interno bruto de apenas 5,82% no setor de indústria, provocando uma elevação do desvio-padrão, que neste caso ficou na casa dos 16,13%.

Os gráficos abaixo (Figuras 3 e 4) representam os valores e suas respectivas médias para as variáveis taxa de crescimento e renda.

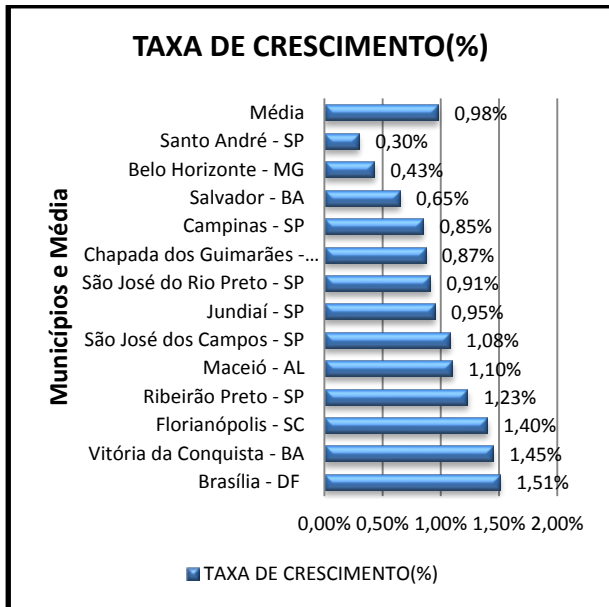


Figura 3. taxa de crescimento dos municípios e média.

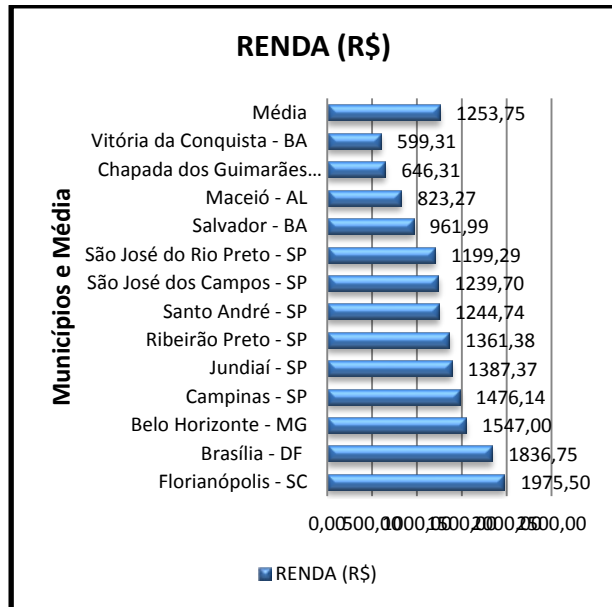


Figura 4. renda dos municípios e média.

#### 4.2 Gráfico das variáveis e subdivisões por classes

Nesta fase, os municípios foram divididos em classes conforme cada variável, e verificado qual classe possuía média e desvio-padrão mais significativos e com menor disparidade de dados. Como os gráficos referentes à taxa de crescimento e à renda não apresentaram resultados e observações significativas, não serão expostos no presente artigo. A seguir, apresenta-se os gráficos referentes as classes de per capita e PIB (Figuras 5 e 6).

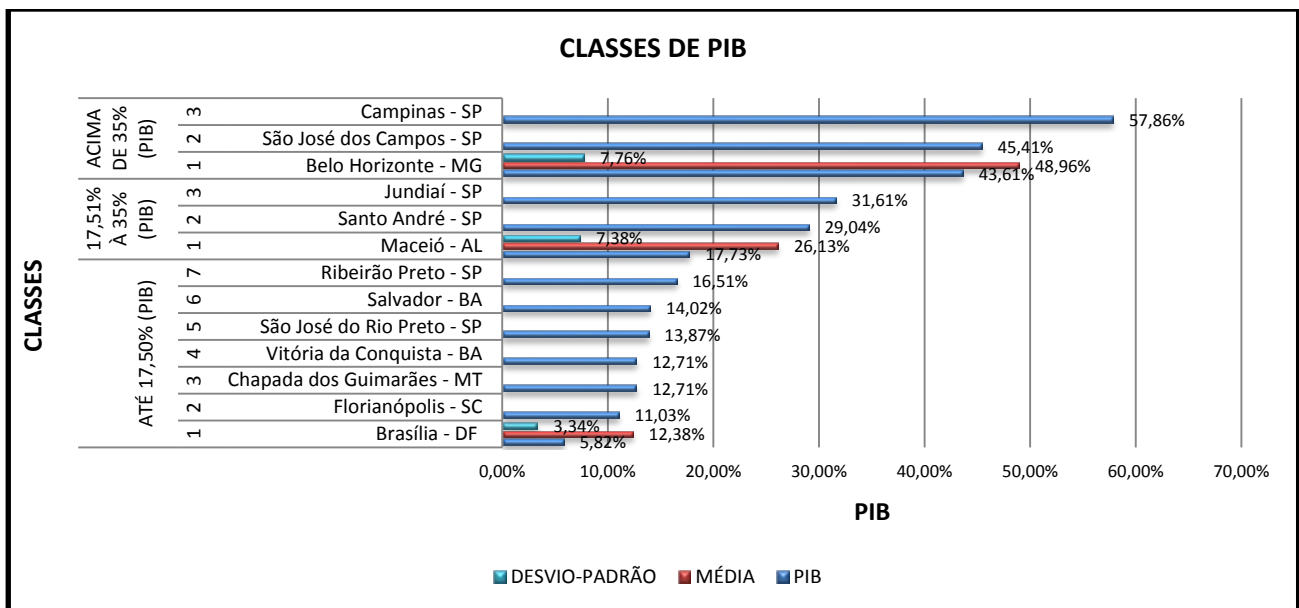


Figura 5. classes de Per capita, respectivas médias e desvios-padrões.

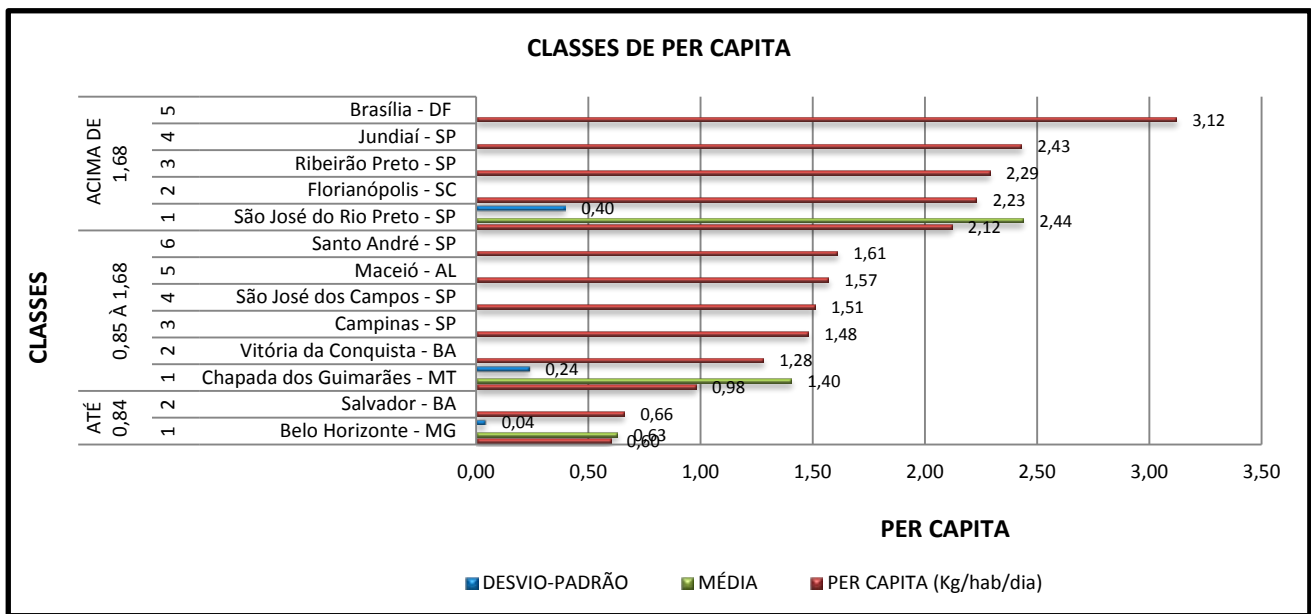


Figura 6. classes de PIB, respectivas médias e desvios-padrões.

Nas classes de per capita, percebe-se que o desvio-padrão da classe acima de 1,68 kg/hab/dia encontra-se consideravelmente, quando comparado com a média.

#### 4.3 Gráficos que relacionam as variáveis, em função da classe pib, com o per capita

Em virtude da quantidade de modelagens dessa fase, serão expostos apenas os gráficos que apresentaram resultados significativos para o presente estudo. Segue abaixo o quadro com os municípios que possuem per capita acima de 1,68 kg/hab/dia.

Quadro 1. municípios com per capita acima de 1,68Kg/hab/dia.

MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO	PIB	PER CAPITA (Kg/hab/dia)	RENDA (R\$)	TX DE CRESCIMENTO (%)
São José do Rio Preto - SP	415.769	13,87%	2,12	1199,29	0,91%
Florianópolis - SC	433.158	11,03%	2,23	1975,50	1,40%
Ribeirão Preto - SP	619.746	16,51%	2,29	1361,38	1,23%
Jundiá - SP	377.183	31,61%	2,43	1387,37	0,95%
Brasília - DF	2.648.532	5,82	3,12	1836,75	1,51%

A seguir, pode-se observar o gráfico que relaciona o índice de geração per capita com o PIB da classe supracitada.

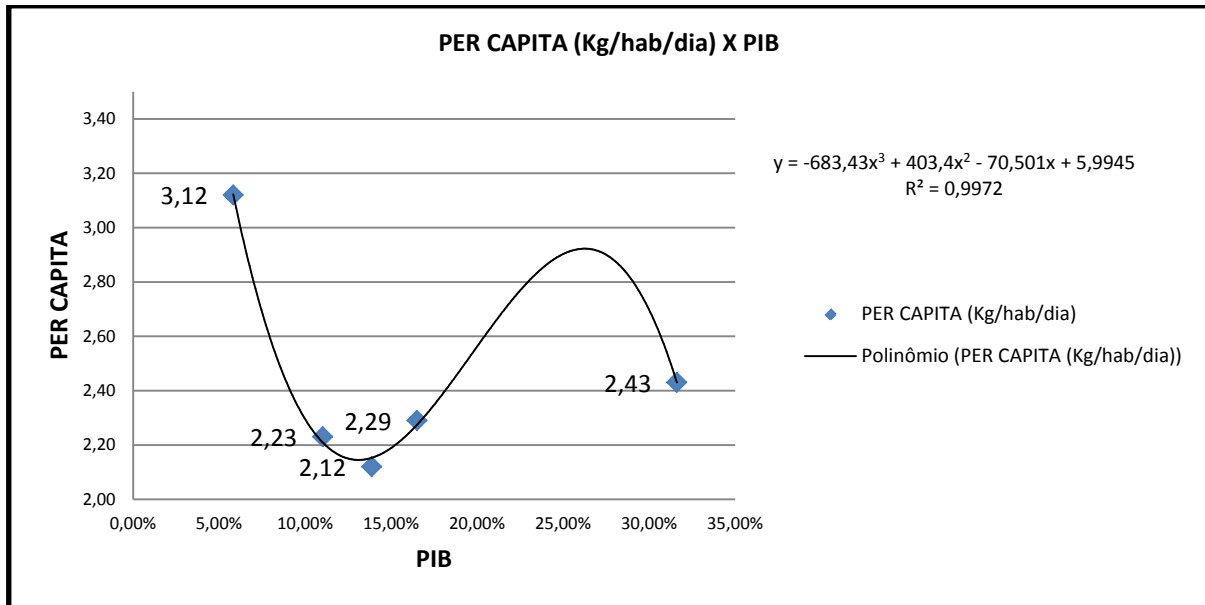


Figura 7. gráfico que relaciona Per capita e PIB dos municípios com per capita superior a 1,68 kg/hab/dia.

Primeiramente, a análise será feita no que diz respeito à linha de tendência traçada, o valor alcançado para a regressão e a equação definida. Percebe-se que a linha de tendência traçada passa quase que exatamente, por todos os municípios, deixando assim a conclusão de que o grau de regressão é bastante considerável. Para testá-lo, foi feito o caminho inverso, ou seja, através da equação gerada pelo *software* excel, foi encontrado o per capita através do PIB dos municípios. O resultado pode ser observado na Figura 8 a seguir:

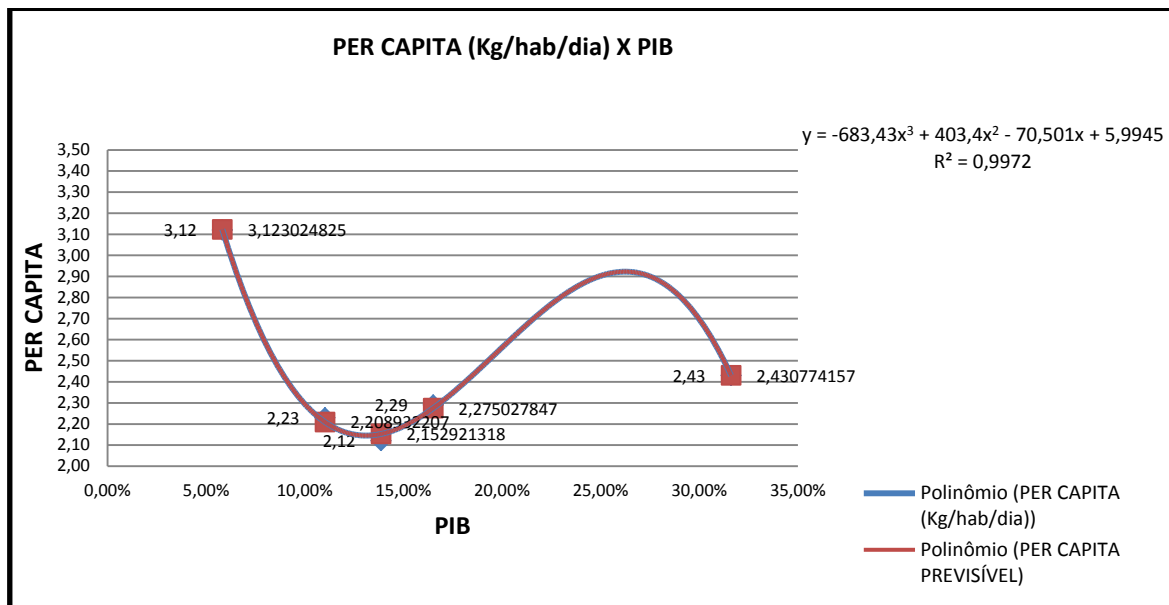


Figura 8. gráfico com duas linhas de tendências. A azul representa a linha obtida com os dados da pesquisa e a linha vermelha, obtida através da equação do gráfico.



Como pode ser visto na Figura 8, as linhas de tendências quase que se sobrepõem em sua totalidade, inferindo a ideia de que a geração per capita de um município pode ser ditada pela presente equação, que tem como variável dependente o PIB da região.

O município de Brasília possui o maior índice de geração de RCD, entretanto, é detentor do menor PIB do setor da indústria, o que chama atenção. O fator PIB pode ser explicado pelo fato de que o município tem como atividade econômica principal o setor de serviços, que engloba o âmbito federal que é predominante na região.

No que diz respeito à geração de RCD, pode-se verificar o potencial de sustentabilidade do município, observando se há um Plano de Gestão Integrada dos resíduos da construção. Brasília é um canteiro de obras a céu aberto, possuindo grandes obras públicas em andamento, construções informais de residências e obras no âmbito da pavimentação e drenagem. O município em análise não possui um local específico para destinação final de seus resíduos, depositando os mesmos no Lixão Estrutural. De todo o rejeito despejado irregularmente no local, 70% é proveniente do setor da construção civil.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais e seguindo a nova realidade apresentada pela construção civil, a utilização de RCD está sendo vista como uma solução no que diz respeito à problemática de disposição irregular de resíduos e isso inclui os impactos ambientais gerados, como da escassez dos recursos naturais.

Entretanto, pelo grande desconhecimento dos volumes de RCD gerados, os impactos que eles podem vir a provocar e os custos econômicos e sociais envolvidos na reciclagem e reaproveitamento, os administradores de resíduos de um município apenas se dão conta da seriedade do que está ocorrendo nos momentos em que é notória a insuficiência das poucas ações corretivas implantadas. Os planos de gerenciamentos dos municípios, em grande parte das vezes, estão voltados apenas para a gestão do lixo doméstico, isto pelo fato dos governantes e administradores considerarem esse tipo de lixo predominante na composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Com a avaliação dos dados, pode-se concluir que 99,7% da variabilidade do per capita é explicada pela variável PIB, assim, a geração de resíduos da construção civil pode ser explicada através do produto interno bruto de um município.

## 6 REFERÊNCIAS

BAGATINI, Felipe. **Resíduos da Construção Civil: aproveitamento como base e sub-base na pavimentação de vias urbanas.** (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2011.

BERNUCCI, L. L. B., LEITE, F. C., MOTTA, R. S. **Aplicação de agregado reciclado de RCD em pavimentação: sistema viário da USP-Leste.** In: SEMINÁRIO GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS

DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO AVANÇOS E DESAFIOS, São Paulo, 2005. Apresentação. CD. São Paulo, 2005.

CARNEIRO, A. P., BURGOS, P. C., ALBERTE, E. P. V. **Uso do agregado reciclado em camadas de base e sub-base de pavimentos**. Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA / Caixa Econômica Federal, 2001. p.190-227.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA 307*, de 05 de julho de 2002, Brasília, 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de julho de 2002.

FERREIRA, José Fernando Bolarinho. **Aplicação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Camadas de Sub-base Não Ligadas de Estradas de Baixo Tráfego**. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, 2009.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1999.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2007.

IBGE. Censo Demográfico 2000, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.

IBGE. Censo Demográfico 2010, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.

LEVY, S.M. **Reciclagem do Resíduo de Construção Civil para Utilização Como Agregado de Argamassas e Concretos**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 1997.

MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2004.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2005.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. Tese de doutorado em engenharia. Escola Politécnica da USP. Área de concentração: Engenharia de Construção Civil e Urbana. 1999.

ROCHA, E. G. A. **Os Resíduos Sólidos de Construção e Demolição: Gerenciamento, Quantificação e Caracterização. Um estudo de caso no Distrito Federal**. 2006. 174f. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2006.

YSHIBA, J. K.; et. al. **Estudo da viabilidade técnica do uso de misturas de solo, cimento e RCD para fins de pavimentação**. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA CIVIL. UEN, 2011.

ZORDAN, S.E. **Entulho na Indústria da Construção**. São Paulo: PCC-EPUSP, 2002.