

**Geração de energia elétrica a partir do lixo residencial produzido****Generation of electric energy from residential waste produced**

DOI:10.34115/basrv4n6-052

Recebimento dos originais:03/11/2020

Aceitação para publicação:12/12/2020

**Fábio Luís Figueiredo Fernandes**

Mestrado em Física

Instituição: UNESP/Guaratinguetá

Endereço: Av. Doutor Antônio Braga Filho, 687, Bairro Varginha - Itajubá/MG - CEP 37501-002

E-mail: fabiofepi@yahoo.com.br

**Alana de Paula Romanelli**

Graduação em Engenharia Civil

Instituição: Fepi - Centro Universitário de Itajubá

Endereço: Av. Doutor Antônio Braga Filho, 687, Bairro Varginha - Itajubá/MG - CEP 37501-002

E-mail: alanapromanelli@gmail.com

**Thiago Henrique Machado da Silva**

Graduação em Engenharia Civil

Instituição: Fepi - Centro Universitário de Itajubá

Endereço: Av. Doutor Antônio Braga Filho, 687, Bairro Varginha - Itajubá/MG - CEP 37501-002

E-mail: thiagomachado1298@gmail.com

**Davi Augusto da Silva**

Graduação em Engenharia Civil

Instituição: Fepi - Centro Universitário de Itajubá

Endereço: Av. Doutor Antônio Braga Filho, 687, Bairro Varginha - Itajubá/MG - CEP 37501-002

E-mail: daviaugusto869@gmail.com

**Júlia Santos Matos**

Graduação em Engenharia Civil

Instituição: Fepi - Centro Universitário de Itajubá

Endereço: Av. Doutor Antônio Braga Filho, 687, Bairro Varginha - Itajubá/MG - CEP 37501-002

E-mail: julia.s9912@gmail.com

**RESUMO**

A quantidade de lixo gerada é um problema muito presente na população brasileira. Alguns malefícios somam-se à questão ambiental, como o grande desperdício de resíduos sólidos e, conseqüentemente, o aumento de aterros e questões sanitárias em geral. A partir deste problema e com objetivo de reduzir o impacto do lixo no meio ambiente, este artigo analisa a viabilidade da geração de energia elétrica através da queima do lixo e a relação entre quantidade de energia elétrica (em Watts) e a queima de lixo (em Kg). Para isso o estudo leva em consideração alguns prédios como base para a pesquisa e, a partir deles, foi calculada a quantidade de energia gerada por apartamento, a fim de analisar se é viável ou não a instalação deste método em prédios.

**Palavras-chave:** energia, lixo, sustentabilidade.

**ABSTRACT**

The amount of garbage generated is a very present problem in the Brazilian population. Some harm is added to the environmental issue, such as the great waste of solid waste and, consequently, the increase of landfills and sanitary issues in general. Based on this problem and with the objective of reducing the impact of garbage on the environment, this article analyzes the feasibility of generating electricity through the burning of garbage and the relationship between the amount of electricity (in Watts) and the burning of garbage (in Kg). For this the study takes into consideration some buildings as a basis for research and, from them, the amount of energy generated per apartment was calculated in order to analyze whether or not it is feasible to install this method in buildings.

**Keywords:** energy, waste, sustainability.

**1 INTRODUÇÃO**

A população do planeta vem aumentando em largos passos, com sua concentração nas grandes cidades e a industrialização, o lixo tornou-se um grande problema. Como em outros países em desenvolvimento, no Brasil alguns malefícios somam-se à questão ambiental, causados por deficiências na geração de resíduos sólidos urbanos (GRU), como a emissão desnecessária de gases de efeito estufa, grande desperdício de matérias-primas e a proliferação de vetores causadores de doenças (GODECKE et al, 2012).

Segundo o Manual de Educação Para o Consumo Sustentável, 2005, lixo é, em geral, considerado como tudo aquilo que se joga fora e não tem mais utilidade, mas este não é uma massa indiscriminada de materiais pois é composto por vários tipos de resíduos que precisam de manejo diferenciado. Com o passar do tempo, o conhecimento sobre a reciclagem tem se tornado cada vez mais importante, há uma ampla conscientização da sociedade para a redução dos impactos ambientais causados pelo ser humano visando um desenvolvimento sustentável do planeta.

Este trabalho visa fazer uma estatística de quanto lixo estimado é produzido por prédio na cidade de Itajubá, MG, e com isso desenvolver a ideia de transformar o lixo em energia elétrica. Um estudo realizado pelo IPEA – Instituto de pesquisa econômica aplicada (2017) aponta que são considerados passíveis de reaproveitamento e reciclagem cerca de 30% a 40% de todo resíduo gerado no Brasil, e apenas 13% são reciclados. O plástico é o resíduo mais reutilizado na reciclagem energética, embora também possa ser utilizados outros resíduos, como restos de alimentos, materiais higiênicos, entre outros.

Contudo, o processo de reciclagem energética consiste em aproveitar o alto poder calorífico contido nos resíduos transformando-os em algum tipo de energia. Por exemplo, um quilograma de plástico é equivalente a um quilograma de óleo combustível (VGRESÍDUOS, 2018), colocando na prática a famosa frase de Lavoisier: “na natureza [...] nada se perde, tudo se transforma”.

Já utilizado na cidade de Borås, no sul da Suécia, onde 99% de todo lixo é reaproveitado. O lixo é separado em garrafas, latas, pilhas e baterias. No centro de triagem ele é separado em lixo orgânico, que

vira biogás, e lixo inflamável, que alimenta as caldeiras termoelétricas produzindo eletricidade. Os moradores de Boras pagam em média 50% menos na conta de luz, além de economizar cerca de 20% no transporte público, pois os ônibus e táxis de lá são 100% movidos a gás. A grande vantagem é o fim dos aterros sanitários (apenas 1% de todo lixo não consegue ser reutilizado). (G1, 2012)

## **2 METODOLOGIA**

Este trabalho foi baseado em um estudo observacional e longitudinal, com dados retrospectivos da produção de lixo coletado no município de Itajubá/MG considerando os últimos 2 anos, no período de janeiro de 2017 a setembro de 2019, para análise de demanda onde os dados foram obtidos na CIMASAS (Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Microrregião do Alto Sapucaí para Aterro Sanitário), responsável da coleta de lixo na região. Sendo também realizada uma simulação do montante de lixo produzido diariamente por uma família de 1 a 5 moradores por apartamento. Utilizando variáveis quantitativas: o número de pessoas, a quantidade de lixos produzidos e quantidade de energia produzida pela queima de kg de lixos separados por tipo de material, considerando que a geração de energia elétrica a partir do lixo é feita por uma usina de compostagem de lixo. Onde estes dados serão obtidos de forma simuladas sendo geradas a partir do programa Microsoft Excel© 2016.

A estatística foi baseada em uma simulação de 5 prédios na cidade de Itajubá-MG, contendo 40 apartamentos e gerando uma quantidade aleatória de 1 a 5 pessoas por apartamento. A quantidade de lixo produzido por pessoa em média para estabelecer a quantidade de energia gerada foi baseada segundo PINTO et al, (2012), onde obteve a média de 0,65 kg de lixo por pessoa com desvio padrão de 0,375kg de lixo por pessoa; e uma estatística que visa uma análise de produção de lixo e previsão para os próximos 6 meses a partir de outubro de 2019, analisando tendência e sazonalidade no período. Os programas utilizados para análise serão Minitab© 16 e Gretl©. O teste utilizado no trabalho foi o teste ANOVA (Análise de Variância) para verificar se os dados dos prédios considerando as variações esperadas pertencem a uma mesma população, considerando um nível de significância de 0,05 e 95% de confiabilidade e a análise de série temporal que visa desenvolver a previsão de demanda de lixo a ser coletado no município de Itajubá/MG, visando a estabelecer o potencial elétrico da região.

## **3 ANÁLISE DE RESULTADOS**

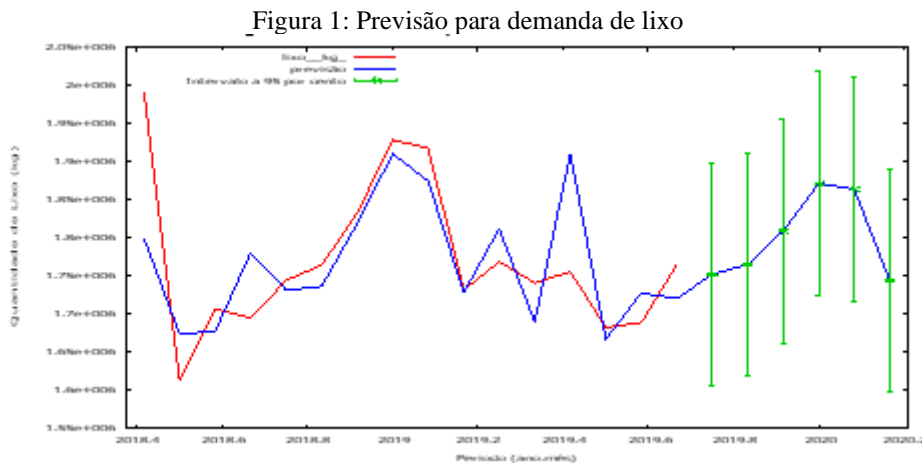
Segue a análise de resultados, onde inicialmente será realizada a previsão de demanda e posteriormente uma análise sobre a quantidade de lixo gerado por prédio e potencial elétrico.

## **4 ANÁLISE DE DEMANDA A PARTIR DE SÉRIE TEMPORAL**

Para análise de demanda da quantidade de lixo esperada para os próximos 6 meses compreendidos entre outubro de 2019 a fevereiro de 2020 foi desenvolvida a série temporal depois de

verificado os seus pré-requisitos de gráfico da série temporal, teste de amplitude-média, correlograma e periodograma, onde determinou-se o melhor modelo de forma ARIMA(12,0,0), o que mostra que o modelo não possui tendência e nem sazonalidade.

A figura 1 mostra dados de previsão, dados reais e o intervalo de confiança para previsões futuras, no qual verifica-se que a previsão obtida se encontra próxima aos valores reais assim como a significância  $p < 0,0001$  mostrado nos dados obtidos acima para o modelo encontrado, mostrando uma boa confiabilidade para a previsibilidade dada.



Fonte: O autor

A tabela 1 mostra a previsão pontual de cada mês assim como o intervalo de confiança que fornece o valor mínimo e máximo esperado para a quantidade de lixo esperada nos meses analisados, de forma que se verifica uma previsão de aumento na quantidade de lixo nos meses de dezembro/2019, janeiro/2020 e fevereiro/2020 o que é justificável pelo período de fim de ano, que é um período de festas e comemorações o que resultaria na geração de maior quantidade de lixo. Outra verificação é o erro padrão abaixo dos 5% do valor de previsão, sendo um valor bem aceitável dentro de uma tolerância esperada.

Tabela 1: Previsão da quantidade de lixo gerada no período de out/19 a fev/20

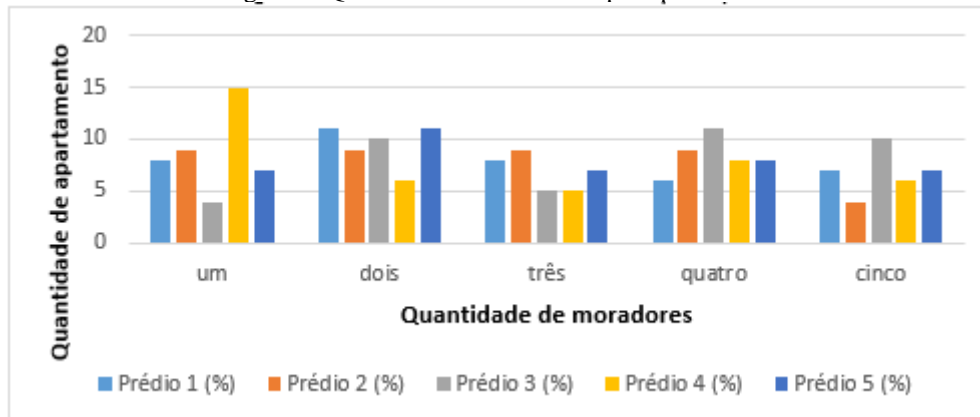
Ano: Meses	Previsão (kg)	Erro padrão (%)	Intervalo a 95% (kg)
2019:10	1.752.480	74925.9 (4,30%)	(1.605.630, 1.899.330)
2019:11	1.765.560	74925.9 (4,24%)	(1.618.710, 1.912.410)
2019:12	1.809.600	74925.9 (4,14%)	(1.662.750, 1.956.450)
2020:01	1.871.870	74925.9 (4,00%)	(1.725.020, 2.018.720)
2020:02	1.864.430	74925.9 (4,02%)	(1.717.580, 2.011.280)
2020:03	1.744.160	74925.9 (4,30%)	(1.597.310, 1.891.010)

Fonte: O autor

## 5 ANÁLISE DESCRITIVA

Em relação aos moradores mostrada na figura 2, verifica-se uma distribuição na quantidade de moradores mais homogênea em relação aos prédios, com destaque apenas no prédio 4 que possui 15 apartamentos com um único morador (37,5% dos apartamentos). Analisando a figura 3 nota-se que a maioria dos prédios geram menos de 3kg de lixo por dia.

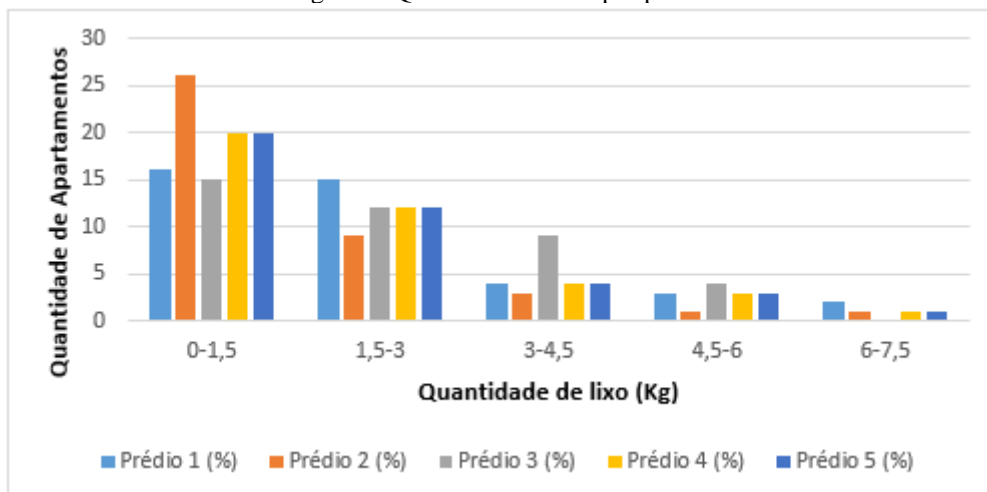
Figura 2: Quantidade de moradores por apartamento



Fonte: O autor

A figura 3 nos traz dados referentes a produção de lixo por prédio. Nota-se que a maioria dos apartamentos gera de 0 a 1,5kg de lixo por dia, havendo um decaimento para maiores quantidades de lixo gerado.

Figura 3: Quantidade de lixo por prédio.



Fonte: O autor

## 6 COMPARATIVO DA QUANTIDADE DE LIXO EM RELAÇÃO AOS PRÉDIOS

Fazendo os pré-requisitos do teste ANOVA para quantidade quilos de lixo gerada por apartamento, foi comprovado que os dados podem ser considerados paramétricos.

Segundo teste ANOVA de um fator sobre os dados da quantidade quilos de lixo verifica-se que não apresentou diferença significativa na produção média de lixo por dia entre os prédios analisados obtendo valor  $p = 0,251$  (considerando um nível de significância 0,05) assim como mostrado nos intervalos de confiança gerados e apresentados na tabela 3, o que mostra fazerem parte de uma mesma população.

A obtenção da variação aleatória da quantidade de lixo dentro de uma mesma população ajuda a estudar a variabilidade possível que pode ser obtida no estudo de geração de energia elétrica a partir do lixo gerado.

Tabela 3: Dados do teste ANOVA de um fator em relação a quantidade de lixo (kg) por apartamento

Quantidade de Lixo	Média (DP)	Valor p	Intervalo de confiança (95%) para média
Prédio 1	2,15 (1,68)	0,251	1,61 a 2,68
Prédio 2	1,47 (1,40)		1,02 a 1,92
Prédio 3	2,22 (1,58)		1,71 a 2,73
Prédio 4	2,02 (1,54)		1,53 a 2,51
Prédio 5	1,83 (1,67)		1,30 a 2,36

Fonte: O autor

## 7 COMPARATIVO DE QUANTIDADE DE MORADORES EM RELAÇÃO AOS PRÉDIOS

Depois de verificar os pré requisitos e determinar que os dados da quantidade de moradores são considerados paramétricos, foi realizado o teste ANOVA de um fator onde verifica-se que não houve diferença significativa entre as médias dos números de moradores obtendo o valor  $p = 0,198$  (considerando um nível de significância de 0,05) como também pode ser observado na tabela 4, mostrando que todos os prédios fazem parte da mesma população, e neste quesito também atende a simulação de um município, apenas verificando a variabilidade das amostras.

Tabela 4: Dados do teste ANOVA de um fator em relação a quantidade de moradores

Quantidade de Moradores	Média (DP)	Valor p	Intervalo de confiança (95%) para média
Prédio 1	2,8 (1,4)	0,198	2,35 a 3,25
Prédio 2	2,7 (1,3)		2,28 a 3,12
Prédio 3	3,3 (1,3)		2,80 a 3,72
Prédio 4	2,6 (1,5)		2,12 a 3,08
Prédio 5	2,9 (1,4)		2,45 a 3,35

Fonte: O autor

## 8 QUANTIDADE DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ESTIMADA POR PRÉDIO

Segundo o artigo escrito no Ideia Sustentável, a multinacional Pöryl, que exerce na área de consultoria e engenharia especializada no ramo de energia, tem como estimativa que o Brasil incinerando 12.000 toneladas de lixos é capaz de gerar 300 Megawatts (MW) de energia, tal que a cada quilograma

de lixo é possível fornecer 25 Watts (W) de energia. Desse modo, será calculado a quantidade de energia produzida por cada prédio mensalmente, tendo como base os dados citados acima.

## 9 CÁLCULO DE ENERGIA MENSAL GERADA POR PRÉDIO X ECONOMIA OBTIDA

Sabe-se a energia gerada por pessoa em média é de 14,22kW/mês considerando o lixo médio produzido por pessoa. (COELHO et al, 2013), e segundo estas informações foi calculado a quantidade total de energia mensal gerada por cada prédio considerando o a média de lixo gerado como mostrado na tabela 5. E considerando que a energia per capita consumida total no Brasil em 2017 foi de 2 MWh segundo EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2020), tem-se que a média por apartamento gira em torno de 167 kWh/mês, sendo assim o valor esperado médio por pessoa seria de 57,6 kwh/mês considerando que em média tem-se 2,9 pessoas por apartamento, onde a economia esperada por prédio é de aproximadamente 24,6% considerando a energia consumida esperada e a energia gerada pelo lixo conforme mostrada na tabela 5.

Tabela 5: Quantidade esperada de energia elétrica gerada pelo lixo e a quantidade esperada de energia elétrica consumida por prédio.

Prédios	Total de Moradores	Energia Gerada(kW) pelo lixo	Energia consumida esperada (kWh)
Prédio 1	113	1606,86	6508,8
Prédio 2	110	1564,2	6336
Prédio 3	133	1891,26	7660,8
Prédio 4	104	1478,88	5990,4
Prédio 5	117	1663,74	6739,2

Fonte: O autor

## 10 CONCLUSÃO

Pode-se concluir neste projeto que, com base na série temporal, que a quantidade de lixo se mantêm estável em relação aos últimos anos, aumentando apenas no período de final de ano provavelmente devido a festas de final de ano e maior quantidade de visitas o que é favorável a geração de energia elétrica baseada no aproveitamento do lixo produzido, considerando que neste caso aumentaria a demanda de energia elétrica. E com relação a simulação realizada é possível verificar a variação que pode ser obtida em diferentes apartamentos tanto quanto a quantidade de moradores quanto a quantidade de lixo gerado observando a quantidade mínima e máxima de energia elétrica esperada, e também, podendo assim determinar qual seria o custo benefício em uma possível instalação do sistema de geração de energia elétrica a partir da geração de lixo residencial, trazendo benefícios ambientais e sanitários, outro aspecto também que pode ser levado em consideração é que a geração de energia elétrica a partir do lixo, pode ser gerada no período noturno que possui maior demanda e ainda por ser utilizada como complementação de uma possível instalação de geração de energia fotovoltaica.

**REFERÊNCIAS**

COELHO, T.C.; SERRA, J.C.V.; LUSTOSA, J.B.; Alternativa de tratamento de resíduos sólidos e aproveitamento energético através de fornos de queima: Uma análise; Revista de Ciências Ambientais – RCA, v.7, n.1, jul. 2013

CONSUMO SUSTENTAVEL: Manual de educação. Brasília: ConsumersIntenational/MMA/MEC/IDEC, 2005, pág. 127. ISBN: 85-87166-73-5

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf)> Acesso em: 24 ago 2019

GODECKE, M.V.; NAIME, R.H.; FIGUEIREDO, J.A.S.; O consumo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil; Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental, 2012, pág. 1700-1712, ISSN: 2236-1170.

G1; Cidade sueca reaproveita 99% do lixo produzido. SÃO PAULO. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-paulo-mais-limpa/noticia/2012/04/cidade-sueca-reaproveita-99-do-lixo-produzido.html>>. Acesso em: 16 set. 2019.

IPEA – Instituto de pesquisa econômica aplicada; Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=29296:apenas-13-dos-residuos-urbanos-no-pais-vao-para-reciclagem&catid=1:dirur&directory=1](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296:apenas-13-dos-residuos-urbanos-no-pais-vao-para-reciclagem&catid=1:dirur&directory=1)>. Acesso em: 02 ago. 2019.

PINTO, M.R.; PEREIRA, D.R.M.; FREITAS, R.C., Fatores sociais, econômicos e demográficos associados à geração de lixo domiciliar na cidade de Belo Horizonte; REUNA, 2012, pág. 27-44, ISSN: 2179 – 8834

VG RESÍDUOS; Como Empreender ao transformar lixo ou resíduo em energia?, 2018. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-empreender-ao-transformar-lixo-ou-residuo-em-energia/>>. Acesso em: 26 ago. 2019.