

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**KEILY SANTOS MARTINS PONCIANO**

**APLICAÇÃO DE UM MERCADO DE CRÉDITOS DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS DE NATUREZA ORGÂNICA**

**VOLTA REDONDA, RJ**

**2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APLICAÇÃO DE UM MERCADO DE CRÉDITOS DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS DE NATUREZA ORGÂNICA**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Aluna: Keily Santos Martins Ponciano

Orientador: Me. Marcus Vinicius Faria de Araújo

**VOLTA REDONDA, RJ**

**2020**

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Aluna: Keily Santos Martins Ponciano

Título da monografia: APLICAÇÃO DE UM MERCADO DE CRÉDITOS DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS DE NATUREZA ORGÂNICA

Orientador: Prof. Me. Marcus Vinicius Faria de Araújo

Banca examinadora:

---

Adilson Gustavo do Espírito Santo, Mestre, UniFOA

---

Francisco Jacome Gurgel Junior, Doutor, UniFOA

Dedico este trabalho aos  
meus pais por acreditarem em  
mim e lutarem ate o fim comigo.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por ter me permitido chegar até aqui e conseguir concluir com êxito meu curso mesmo com muitas dificuldades no caminho.

A minha mãe, que me possibilitou continuar estudando quando não pude mais manter, pela orientação, dedicação e incentivo durante toda minha vida.

Ao meu pai, que abraçou comigo esse sonho desde o início, que me incentivou e sempre esteve próximo quando precisei. Ele que fez e faz tudo para me ver feliz, serei eternamente grata.

Sem dúvida alguma eu não seria nada sem meus pais, me deram muita força e acreditaram no meu sonho.

Ao meu irmão que que é meu braço direito, quem me ouviu por diversas vezes pensar em desistir e me deu forças para seguir em frente.

Ao meu avô Mauricio em memória, que com toda certeza ficaria feliz com a minha conquista. E meus familiares que me deram muita força e apoio.

Ao professor Mestre Marcus Vinicius Faria de Araújo, pela oportunidade, orientação, incentivo e apoio.

Ao Sr. Júlio Gil da Cunha, da Secretaria Municipal de Planejamento de Volta Redonda que colaborou com dados importantes populacional do município de Volta Redonda/RJ.

Enfim, aos amigos, colegas e a todos aqueles que colaboram direta ou indiretamente para que eu chegasse até aqui e compreenderam quando estive ausente.

Àqueles que acreditaram em mim, muito obrigada!

## RESUMO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída no Brasil em 2010 trouxe grandes avanços e consequentes responsabilidades a todos os cidadãos. No que tange a gestão de resíduos sólidos, todos os entes da federação passaram desde então a serem obrigados a elaborarem seus planos de gerenciamento de resíduos objetivando oportunizar maior eficiência em termos de coleta, transporte e destinação de resíduos, além de reverem práticas de geração dos mesmos. O presente trabalho visa simular a aplicação da Teoria de Mercado de Créditos de Resíduos Sólidos Urbanos de natureza orgânica de modo a auxiliar o poder público em se beneficiar de economias de escala na gestão destes. Tal projeto tem como prioridade o alcance das metas ambientais definidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos a menores custos para a sociedade. Inicialmente define-se um cenário comparando-se os custos da utilização de instrumentos de comando e controle e aqueles quando aplicada a teoria dos mercados de créditos de poluição. Ao final torna-se possível selecionar qual dos instrumentos de gestão de resíduos sólidos urbanos possui melhor custo-efetividade e que, portanto, possui resultados mais promissores em termos de melhoria da qualidade ambiental, maior justiça social e viabilidade econômica.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos sólidos orgânicos; Licenças intercambiáveis; Certificados de poluição; Benefícios ambientais, sociais e econômicos.

## ABSTRACT

The National Solid Waste Policy instituted in Brazil in 2010 brought great advances and consequent responsibilities to all citizens. Regarding the management of solid waste, all entities of the federation have since been obliged to prepare their waste management plans in order to provide greater efficiency in terms of collection, transportation and disposal of waste, in addition to reviewing practices for the generation of waste themselves. The present work aims to simulate the application of the Market Theory of Credits of Solid Urban Waste of organic nature in order to assist the public power to benefit from economies of scale in the management of these. Such a project has as priority the achievement of the environmental goals defined in the National Solid Waste Policy at lower costs for society. Initially, a scenario is defined by comparing the costs of using command and control instruments and those when applying the pollution credit markets theory. In the end, it becomes possible to select which of the solid urban waste management instruments has the best cost-effectiveness and which, therefore, has more promising results in terms of improving environmental quality, greater social justice and economic viability.

**Keywords:** Management of organic solid waste; Interchangeable licenses; Pollution certificates; Environmental, social and economic benefits.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Problema.....	12
1.2	Justificativa.....	13
1.3	Objetivo Geral .....	14
1.3.1	Objetivos Específicos .....	14
1.4	Estratégia de Pesquisa .....	15
1.5	Estrutura do Trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1	Resíduos Sólidos .....	16
2.1.1	Resíduos Sólidos Urbanos - RSU.....	18
2.1.2	Plano Municipal de gerenciamento integrado de RSU .....	18
2.2	Método de tratamento/disposição de RSU .....	19
2.3	Gerenciamento Integrado de RSU – GIRSU.....	20
2.4	Instrumentos utilizados na gestão de RSU .....	21
2.4.1	Geração e acondicionamento.....	23
2.4.2	Coleta e Transporte.....	23
2.4.3	Destinação final de RSU.....	24
2.4.4	Processo de tratamento dos resíduos sólidos .....	28
2.4.5	Limpeza dos logradouros públicos .....	30
2.5	Instrumentos econômicos na gestão de resíduos sólidos .....	31
2.6	Geração de RSU.....	32
3	METODOLOGIA .....	33
3.1	Classificação da pesquisa.....	33
3.2	Revisão sistemática da literatura .....	34

3.3	Método proposto .....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
4.1	Geração de RSU por bairro em Volta Redonda .....	40
5	CONCLUSÕES.....	48
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios brasileiros com coleta seletiva. Fonte: CEMPRE - Ciclossoft 2018	22
Figura 2: Lixão a céu aberto. Fonte: Google imagens - 2020.....	25
Figura 3: Aterro Controlado. Fonte: Google imagens – 2020.....	26
Figura 4: Aterro Sanitário Nova Iguaçu/RJ. Fonte: Google imagens - 2020.....	27
Figura 5: Incineração de lixo. Fonte: Google imagens – 2020 .....	28
Figura 6: Geração de RSU no Brasil. Fonte: Abrelpe/IBGE – 2019. ....	32
Figura 7: Geração de RSU per capita nas regiões (Kg/habitante/dia). Fonte: Abrelpe/IBGE – 2019. ....	32
Figura 8 Citações de Instrumentos <i>Solid Waste</i> management por ano.....	34
Figura 9: Citação de <i>Interchangeable licenses</i> por ano. ....	35
Figura 10 Citação de <i>Pollution Certificates</i> por ano. ....	35
Figura 11: Adaptado Mapa Político de Volta Redonda/RJ .....	37

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fluxograma com as etapas da pesquisa proposta. ....	15
Quadro 2: Custos da coleta seletiva de 1994 a 2018. Fonte: Adaptado CEMPRE - Ciclossoft 2018.....	23
Quadro 3: Classificação da pesquisa (SEVERINO, 2017). ....	33
Quadro 4: Fluxograma proposto de RSU entre os setores do município de Volta Redonda/RJ .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela da população e geração de RSU por bairro no município de Volta Redonda/RJ. 2020 .....	40
Tabela 2: Distribuição da população por setor. ....	41
Tabela 3: Somatório da população e resíduo gerado por setor. ....	41
Tabela 4: Distribuição do número de habitantes e geração de resíduos orgânicos no município de Volta Redonda/RJ .....	42
Tabela 5: Quantitativos de RSU e Custos Marginais - 1ª Situação. ....	43
Tabela 6: Demonstrativo de Custos Totais sem utilizar a Teoria dos Certificados de Poluição.....	44
Tabela 7: Quantitativos de Créditos de Resíduos Orgânicos.....	45
Tabela 8: Demonstrativo de Custos Totais utilizando a Teoria dos Certificados de Poluição.....	47
Tabela 9: Comparativo de Custos Totais para as duas situações estudadas. ....	47

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRO	Central de Resíduos Orgânicos
CTR	Centro de tratamento de Resíduo
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IE	Instrumento Econômico
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPF	Ministério Público Federal
NBR	Norma Brasileira Registrada
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PGIRS	Plano de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RS	Resíduo Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SMOP	Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
TCL	Taxa de Coleta de Lixo

## **1 INTRODUÇÃO**

No ano de 2010, especialistas com conhecimentos em práticas ambientais e com o objetivo de reduzir o impacto dos resíduos sólidos amparados pela Lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre crimes ambientais, instituíram no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, também conhecida por PNRS. Trata-se da Lei federal 12.305, com o intuito de definir metas de gerenciamento ambiental e várias diretrizes para serem cumpridas em todo território nacional.

Essa lei contém importantes instrumentos que estabelecem avanços fundamentais nos principais problemas ambientais, sociais e econômicos no país através de manuseios impróprios dos resíduos.

Tendo por primícias, prevenir e reduzir a geração de resíduos poluentes, através da prática de hábitos de consumo sustentável fazendo com que aumente a reutilização de resíduos sólidos, a reciclagem e destinação adequada dos rejeitos.

Estabelece o juízo dos produtores de resíduos: distribuidores, fabricantes, importadores, comerciantes, os cidadãos e titulares de serviço de manejo dos resíduos sólidos urbanos na logística reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo.

Para que haja extinção de lixões e que gere instrumentos de planejamento em níveis municipais, intermunicipais, estaduais, nacionais, microrregionais e metropolitanos são criadas metas importantes e estabelecido que sejam elaborados planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

### **1.1 Problema**

As questões que motivaram o presente projeto de pesquisa baseiam-se na necessidade de cumprimento da PNRS considerando não apenas o alcance de metas ambientais, mas também oportunizando custos totais privados mínimos para cumprimento de tais metas aos integrantes da cadeia de suprimentos relacionada à gestão de resíduos sólidos urbanos de natureza orgânica, que representam mais da metade da quantidade de resíduos gerada diariamente no Brasil (IBGE (2018)). A partir

do estabelecimento da escolha do município de Volta Redonda/RJ como cenário relacionado à cadeia de suprimentos na gestão de RSU, a pesquisa intenciona responder às seguintes questões:

- Quais os custos totais para o cenário escolhido, considerando o uso de instrumentos regulatórios propostos na PNRS?

- Quais os custos totais considerando o uso de mercado de créditos de RSU de natureza orgânica para o cenário escolhido?

- Qual dos dois instrumentos de gestão de RSU de natureza orgânica avaliados tem potencial maior para atingir a meta ambiental de evitar a poluição por RSU de natureza orgânica a menores custos (melhor custo-efetividade) para a cadeia de suprimentos em tela?

## **1.2 Justificativa**

O presente trabalho apresenta como principal justificativa o fato de que a gestão de resíduos sólidos urbanos de natureza orgânica no Município de Volta Redonda-RJ, historicamente é feita aplicando apenas instrumentos regulatórios e não se beneficia de economias de escala.

A relevância do presente projeto de pesquisa reside na necessidade de mensurar os custos totais privados impostos aos atores do mercado para o alcance das metas ambientais propostas na PNRS para gestão de RSU. Tal mensuração de custos se dá a partir do uso de instrumentos regulatórios confrontando-se aos custos com uso de certificados intercambiáveis de RSU de natureza orgânica, nos moldes da teoria dos mercados de créditos de poluição de John Dales (ARAÚJO *et al*, 2019). O conhecimento de tais custos oportuniza a escolha da alternativa de gestão de RSU de melhor custo-efetividade para a sociedade.

Com a problematização desses custos intenciona-se identificar e propor tratamento para eventuais patologias na PNRS decorrentes da existência de pontos de fragilidade socioeconômicos, tais como: custos adicionais para atividades industriais/comerciais/prestadores de serviços, receptores e transportadores de resíduos com a necessidade de averbação de licenças ambientais, requerimento de

licenças ambientais novas e solicitadas a órgãos ambientais atuando em esfera hierárquica de poder superior (licenças ambientais municipais passando a licenças ambientais estaduais, ou licenças ambientais estaduais passando a licenças ambientais federais).

### **1.3 Objetivo Geral**

Aplicar os conceitos da teoria de mercado de crédito de poluição para a obtenção de uma gestão de resíduos sólidos urbanos de natureza orgânica com eficiência ambiental, equidade social e menor custo, a partir de ensaio matemático desenvolvido considerando como cenário, o município de Volta Redonda/RJ.

Tem por finalidade estabelecer um cenário onde a gestão de RSU de natureza orgânica seja avaliada em termos de custos totais considerando o uso de instrumento regulatório previsto na PNRS brasileira e modelo matemático para aplicação de certificados intercambiáveis de RSU, a partir da proposição de formação de um mercado de resíduos sólidos (AZIZ, YAU e ATTAN, 2015).

#### **1.3.1 Objetivos Específicos**

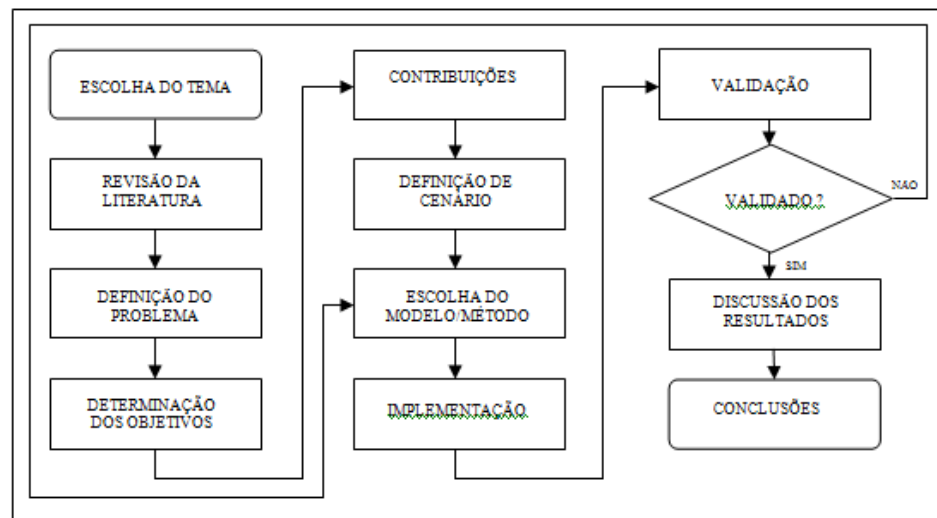
- Identificar a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados nos bairros no Município de Volta Redonda-RJ.
- Testar de forma teórica a viabilidade técnica e econômica de aplicar o conceito de mercado de crédito de poluição na gestão de poluição de resíduos sólidos urbanos de natureza orgânica do Município de Volta Redonda-RJ.
- Propor um modelo de estimação de custos totais para atores de um cenário de gestão de RSU de natureza orgânica utilizando a teoria dos mercados de créditos de poluição.
- Validar os modelos a partir da determinação dos custos totais para *stakeholders* no mesmo cenário de gestão de resíduos de natureza orgânica utilizando os atuais instrumentos regulatórios previstos na PNRS.

## 1.4 Estratégia de Pesquisa

O processo de elaboração do presente trabalho tem início com um levantamento do referencial teórico sobre PNRS, Legislação Ambiental brasileira, potencial de negociação de RSU de natureza orgânica, instrumentos de gestão de RSU e teoria dos certificados intercambiáveis de poluição.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

As etapas da pesquisa proposta e sua seqüência prevista estão ilustradas no quadro 1 onde está apresentado o fluxograma da mesma.



Quadro 1: Fluxograma com as etapas da pesquisa proposta.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Resíduos Sólidos

Até o ano de 1970 os resíduos sólidos eram entendidos como lixo, não tendo valor econômico nenhum. E com isso pesquisadores da área não julgavam conveniente para o momento, uma vez que não se suas questões econômicas não eram levadas em consideração. Cientificamente o mais adequado é resíduo, utilizado na matéria prima para originar outros produtos (LOPES, 2003).

Entende-se por resíduo toda sobra gerada por alguma atividade. Isto é, o famoso “lixo”. Porém deve-se entender que o resultado de qualquer atividade humana gera resíduo e não lixo. Assim como certos materiais, os resíduos também possuem valores ambientais, econômicos e sociais que podem ser conservados a começar da coleta seletiva e descarte e em seguida reciclagem ou geração de energia (LOGAREZZI, 2006).

Em consequência da variedade da formação dos resíduos, pode se encontrar diferentes formas de classificá-los. De acordo com a PNRS e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), abaixo estão concepções a respeito da origem e periculosidade dos resíduos:

#### **No que diz respeito à periculosidade – NBR 10.004:**

Classe I - Resíduos Perigosos: expõe risco à saúde pública e ao meio ambiente requerendo tratamento e disposição especial conforme seus aspectos corrosivos, inflamáveis, patogênicos, reativos e tóxicos. Tal como infectantes, inflamáveis, radioativos, com risco químico etc.

Classe IIA - Resíduos Não Perigosos Não Inertes: é capaz de dispor características como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Exemplo dessa classe são os resíduos domésticos.

Classe IIB – Resíduos Não Perigosos Inertes: ao entrar em contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizada, em temperatura ambiente não solubiliza

seus elementos em concentrações elevada aos protótipos da portabilidade de água. O resíduo de construção civil é um exemplo.

**No que diz respeito à origem – PNRS, Lei 12.305/2010**

No art. 13 da PNRS, categoriza resíduos sólidos quanto sua origem da seguinte forma:

- Resíduos domiciliares: resultantes de ações domésticas em residência urbana;
- Resíduos de limpeza urbana: resultantes da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, dentre outros serviços de limpeza pública;
- Resíduos sólidos urbanos: contido nos resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço: os originados desta atividade são os resíduos de limpeza urbana, de serviço público de saneamento básico, de serviços de saúde, construção civil e agrossilvopastoris;
- Resíduos de serviços públicos de saneamento básico: são originados dos resíduos sólidos urbanos;
- Resíduos industriais: concebido de processos produtivos e instalações industriais;
- Resíduo de serviços de saúde: concebido nos serviços de saúde de acordo com regulamento ou normas determinadas pelo Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);
- Resíduos de construção civil: formado através de construções, reformas, reparos e demolição de obra de construção civil, incluídos resultados da preparação e escavação de terrenos para obras de construção civil;
- Resíduos agrossilvopastoris: originados de atividades agropecuárias e silviculturais, abrangendo os associados a insumos utilizados nessas atividades;

- Resíduos de serviços de transportes: gerado de aeroportos, portos, terminais alfandegários, ferroviários e rodoviários e passagens de fronteira;
- Resíduos de mineração: originados na atividade de pesquisa, extração ou proveito de minérios.

### **2.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos - RSU**

No ano de 2010, foi decretada a Lei Federal nº 12.305, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que deu início a responsabilidade entre governo, empresas e população. Essa legislação motiva o retorno dos produtos às indústrias após o consumo e exige o poder público a realizar projetos para o gerenciamento dos resíduos sólidos.

Segundo a PNRS, são considerados resíduos sólidos urbanos (RSU) os resíduos domiciliares, proveniente de ações domésticas em residências urbanas, e os resíduos de limpeza urbana, os oriundos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.

### **2.1.2 Plano Municipal de gerenciamento integrado de RSU**

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) são documentações habilitadas por jurídicos de direito público ou privado na geração de resíduos ou na prática de ações presumido no art. 13 da PNRS.

A Cartilha do Ministério Meio Ambiente (MMA) divulgada em 2014, “Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Instrumento de Responsabilidade Socioambiental na Administração Pública”, explica que órgãos e entidades públicas carecem desenvolver seus Planos de Gerenciamento a fim de:

- “Dar exemplo” e atender às expectativas da sociedade;
- Promover maior controle de destinação dos resíduos pelo poder público;

- Dar continuidade e aperfeiçoar o disposto no Decreto nº5940/2006 que trata da coleta seletiva solidária;
- Reduzir custos operacionais por meio do reaproveitamento de materiais;
- Aperfeiçoar a gestão de resíduos sólidos;
- Reduzir impactos ambientais;
- Reduzir a desigualdade social.

Em agosto de 2010, através da edição da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a Prefeitura Municipal de Volta Redonda finalizou seu lixão e desenvolveu um Plano Municipal de Resíduos Sólidos. Com a intenção de determinar uma melhor Política Municipal para o Saneamento Básico, o município de Volta Redonda contratou a Ecologus Engenharia Consultiva Ltda., para firmar a construção do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e o Plano de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS), as instruções definidas pela Legislação Federal sobre o assunto, leva em consideração as orientações e recursos financeiros oferecidos pelos Governos Federal e Estadual (GURGEL JÚNIOR, 2017).

Através da determinação do Ministério Público Federal (MPF), o município de Volta Redonda, de acordo com Setta (2016), começou a destinar seus resíduos sólidos urbanos ao Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) de Barra Mansa, a partir de maio de 2012, com o objetivo de amenizar os impactos ambientais negativos resultantes da omissão da PMVR.

## **2.2 Método de tratamento/disposição de RSU**

A PNRS define que a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos deve incluir a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os

impactos ambientais adversos. A PNRS ainda determina que a disposição final ambientalmente adequada é a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, sendo considerados rejeitos os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). A seleção do tratamento a ser implantada deve evidenciar os seguintes aspectos: custos de implantação e operação, disponibilidade financeira dos agentes envolvidos, capacidade de atender às exigências legais, quantidade e capacitação técnica dos recursos humanos.

### **2.3 Gerenciamento Integrado de RSU – GIRSU**

O Sistema de gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos é um conjunto que incentiva atividades regulamentárias, operacionais, monetária e de elaboração que uma logística municipal estabelece baseando-se em padrões ambientais, econômicos e sanitários para arrecadar, tratar e ordenar o lixo da cidade (CEMPRE, 2001 *apud* LOPES, 2003).

O melhor sistema de gerenciamento é aquele que reduz o resíduo gerado, considerando o auxílio as necessidades sociais e suporte do sistema. Junto a esse sistema, utilizam-se técnicas para a recuperação de resíduos como a compostagem e reciclagem (MAGALHÃES, 2008).

Através do modelo apresentado pelo IBAM (2001), o desempenho do GIRSU necessita da ação de subsistemas exclusivos para que não atuem apenas agentes ligados à prefeitura, mas também:

- A população, empenhada na separação e acondicionamento diferenciado dos materiais recicláveis em casa;
- Os grandes geradores, responsáveis pelos próprios rejeitos;
- Os catadores, organizados em cooperativas, capazes de atender à coleta de recicláveis oferecidos pela população e comercializá-los junto às fontes de beneficiamento;

- Os estabelecimentos que tratam da saúde, tornando seus resíduos inertes ou oferecidos à coleta diferenciada, quando isso for imprescindível, sem desconsiderar as normas e resoluções relativas ao gerenciamento dos RSU (resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA RDC 306/2004 e resolução CONAMA 358).

Com a ajuda dos agentes, entidades e contratados através de decisões, convênios e parceiros a prefeitura tem como papel principal o gerenciamento integrado do sistema.

#### **2.4 Instrumentos utilizados na gestão de RSU**

A Logística e acomodação imprópria de RS acarretam inúmeras consequências aos processos sociais ambientais, tal como enchentes e desmoronamentos nas redes de drenagem, contágio do solo, ar e água, se tornando centro de transmissão de doenças (SUNG E MORI, 2011).

Por conta de adversidades no gerenciamento de RS, tornou-se à sociedade mais complicado em razão da quantia e variedade dos resíduos, análise de áreas urbanas, finanças municipais insuficientes e consequências de avanços e insuficiências na energia e recursos naturais (TADA *et al.*,2009).

É obrigação municipal recolher, direcionar e administrar todo resíduo no Brasil, porém os industriais dependem da especificação de acordo com a NBR 10.004, podendo ser tratado e retirado por ela para o destino ideal.

De acordo com Sung e Mori (2011), através da gestão de RS no meio urbano, resultou na reutilização dos resíduos e educação ambiental para que a população ao comprar qualquer produto que seja, se preocupe com seu destino para que não afete ao meio ambiente.

Para que tenha resultados o gerenciamento de resíduos sólidos precisa ter uma boa logística e manter a faxina urbana em dia. Por isso em algumas cidades é cobrado uma taxa pela limpeza urbana, nomeada como Taxa de Coleta de Lixo (TCL), que quanto menos resíduo a população produzir mais baixa será essa taxa (MORI, 2011).

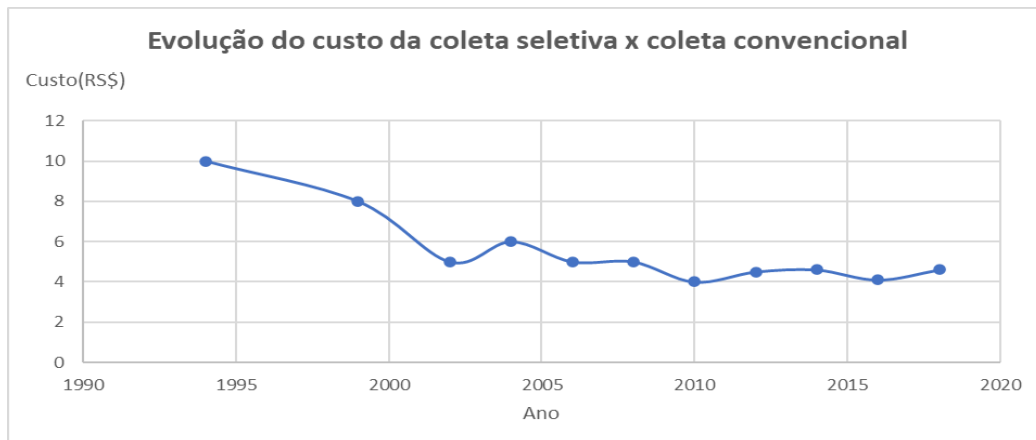
De acordo com a Abrelpe/IBGE (2019), entre os anos de 2017 e 2018, aproximadamente três quartos dos municípios brasileiros realizam algum tipo de coleta seletiva. As cidades que aderiram a coleta seletiva tiveram um aumento em todas as regiões, destacando-se o Nordeste e Centro-Oeste que tiveram um aumento de 8% e 9%. A figura 1 apresenta o crescimento ao longo dos anos dos municípios com a coleta seletiva no Brasil.



Figura 1: Municípios brasileiros com coleta seletiva. Fonte: CEMPRE - Ciclossoft 2018

Os municípios que aderem a gestão de RS têm um gasto com o recolhimento e disposição final que é cobrado na TCL por moradores que utilizam desse serviço. No quadro 2 é representado o que é gasto com a coleta seletiva e nota-se que o valor pago ainda é alto. De acordo com a pesquisa fornecida pelo CEMPRE no ano de 2018, o custo médio nos municípios pesquisados foi de US\$ 117,93 ou seja R\$ 442,24 por tonelada. Levando em consideração que o valor médio da coleta regular de lixo é de US\$ 25,00 ou seja R\$ 95,00, o custo da coleta seletiva acaba sendo 4,6 vezes mais alto do que a coleta convencional.

\*US\$ 1,00 = R\$ 3,80.



**Quadro 2: Custos da coleta seletiva de 1994 a 2018. Fonte: Adaptado CEMPRE - Ciclossoft 2018.**

Conclui-se que se o gerenciamento de RS for executado de forma correta, as questões e associações indispensáveis serão reconhecidas e estabelecidos ajustamentos em informações e melhor compreensão nas atuações indispensáveis ao sucesso das políticas públicas que fornecem serviços municipais de gerenciamento de RS (TADA *et al.*, 2009).

A seguir estão relacionados os componentes da gestão de RSU utilizados atualmente:

#### **2.4.1 Geração e acondicionamento**

Para se chegar a quantidade exata de resíduos gerados por uma população, existe uma série de fatores para se levar em consideração, sendo eles: renda, o tipo de atividade econômica, a época, o que é consumido, se está em período férias ou em um final de semana dentre outros. São referências consideradas importantíssimas na gestão de RSU.

Os resíduos são recolhidos de cilindros metálicos ou plásticos, onde contém o lixo solto ou embalados em sacolas plásticas e papelões. Já os resíduos provenientes do serviço de saúde são recolhidos de forma diferente devido ao seu risco à saúde.

#### **2.4.2 Coleta e Transporte**

O recolhimento e acomodação dos resíduos é responsabilidade única do município. De acordo com dados fornecidos pelo IBGE (2002), cerca de 60% de RSU recolhidos são despejados em lixões pelo país.

A disposição na administração da coleta, tem como objetivo recolher 100% do resíduo gerado pela sociedade.

Segundo Cunha e Caixeta Filho (2002), a coleta começa a partir da saída do caminhão da garagem até seu retorno à garagem. E declaram que a coleta de resíduos pode ser dividida em dois grupos: o especial de coleta que são os contaminados e os não contaminados, sendo os não contaminados podendo ser coletados de forma tradicional.

### **2.4.3 Destinação final de RSU**

De acordo com D'Almeida (2000) *apud* Junkes (2002), existem inúmeras maneiras para a destinação dos RSU, porém as mais consideradas e aplicadas são:

- **Lixões ou vazadouros**

Os Lixões também conhecidos como vazadouros, na maioria são localizados distante do centro da cidade, são despejados no solo, sempre em locais à céu aberto e recebem qualquer tipo de resíduo. São despejados de forma incorreta, provocando a contaminação do solo e corpos hídricos superficiais e subterrâneos pelo chorume, tinta e resinas. Com isso áreas ao redor dos lixões acabam sendo desvalorizadas e se tornando locais para procura de alimentos ou resíduos para reciclagem. E mesmo com todos esses impactos econômicos ou sociais, é uma opção muito comum em grande parte de países desenvolvidos pelo seu baixo custo. A figura 2 temos/apresenta um lixão a céu aberto.



Figura 2: Lixão da Estrutural, Distrito Federal, fechado em 2018. Fonte: Wikiwand.

- **Aterro Controlado**

Aterros controlados são bem menos prejudiciais que lixões pelo fato de diminuir a poluição ao serem despejados e cobertos por terra ao final diariamente. É uma opção menos poluente, porém não a mais indicada para que não haja danos ambientais, por conta dos resíduos aterrados sem segregação, pode vir a contaminar o solo e corpos hídricos. A figura 3 mostra exatamente como é um aterro controlado.



**Figura 3: Aterro controlado. Fonte: VR gestão de resíduos.**

- **Aterro Sanitário**

É a opção mais indicada, mais vantajosa por diminuir os impactos gerados pelos RSU. Se caracteriza por: separação da área aterrada para resíduos de serviço de saúde; impermeabilização do solo para receber o resíduo sem que tenha contato com líquidos residuais e lençol freático; consolida a decomposição da matéria orgânica do chorume; extração de águas de chuvas através de drenos superficiais; drenos para coleta de chorume e dispersão do metano; lagoas de estabilização para receber os líquidos residuais e o acondicionamento dos resíduos através de camadas cobertas por solo.

Pode-se também com esse processo, recolher gases formados pelo processo de decomposição do lixo para futuramente ser utilizado na geração de energia por drenos verticais. Na figura 4 conseguimos entender melhor como é um aterro sanitário.



**Figura 4: Central de tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu. Fonte: Vereda projetos.**

- **Incineração**

A incineração nada mais é que a queima de resíduos no incinerador ou em usinas de incineração com temperaturas bem elevadas, acima de  $900^{\circ}$  C. São inúmeros os benefícios através deste processo, podendo citar a diminuição dos excretos municipais e seu potencial tóxico e a geração de energia produzida pela queima. Porém existem alguns malefícios como a poluição da atmosfera pelo resíduo incinerado, através da emissão de gases e material particulado por conta da falta de controle e monitoramento do incinerador. Devido ao seu alto custo, no Brasil ainda não é muito utilizado. A figura 5 representa como é feita a incineração dos resíduos.



Figura 5: Incineração de lixo. Fonte: Ambientelegal.com

#### 2.4.4 Processo de tratamento dos resíduos sólidos

A compostagem e reciclagem são métodos de tratamento dos RSU.

- **Compostagem**

De acordo com D`Almeida (2000), *apud* Junkes (2002), compostagem é um procedimento da degradação biológica da matéria orgânica presente em resíduos animais e vegetais, resultando em um composto orgânico que em contato com solo, aperfeiçoa as qualidades sem causar danos ao meio ambiente.

Segundo Jardim (1995) *apud* Lopes (2003), e Soares (2006) os benefícios da compostagem são:

- Economia de espaço físico em aterro controlado ou sanitário, aumentando sua vida útil;
- Aproveitamento agrícola da matéria orgânica que seria descartada;

- Reciclagem dos nutrientes para o solo;
- Processo ambientalmente seguro;
- Eliminação de agentes patogênicos;
- Recuperação energética através do composto.
- **Usinas de triagem e compostagem**

De acordo com dados fornecidos pela FEAM (2005), usinas são compostas com galpão para a receber e fazer a seleção do lixo, pátio de compostagem e galpão onde são armazenados os recicláveis e unidades de apoio como escritório, almoxarifado dentre outros. Em alguns casos as usinas dispõem outras unidades como valas de aterramento de rejeitos e resíduos de saúde, unidades para tratamento de efluentes gerados tanto na operação como na higienização.

Junkes (2002), informa que uma usina de triagem e compostagem é formada por seis setores, sendo:

- 1º Setor – recepção e expedição: onde constituem as instalações e equipamentos de controle de fluxos de entrada e saída;
- 2º Setor – triagem: onde é separado manualmente componentes do resíduo, divididos em grupos, de acordo com sua natureza: matéria orgânica, materiais recicláveis, rejeitos e resíduos sólidos específicos. De acordo com a FEAM (2002), é importante o lixo não estar compactado.
- 3º Setor – pátio de compostagem: espaço onde acontece a decomposição do lixo de microbiológica para composto. Armazenados em pilhas, as compostagens são regularmente acompanhadas para que fatores necessários à biodegradação do composto seja controlado.
- 4º Setor – beneficiamento e armazenagem do composto: onde ocorre o peneiramento e remoção de materiais indesejáveis, apresentando uma granulometria menor e tornando-o mais adaptável ao agricultor. Neste setor também ocorre o estudo e armazenamento do composto.
- 5º Setor – aterro de rejeitos: materiais com volume maior e rejeitos da separação do lixo e favorecimento do composto são direcionados à aterros de rejeitos,

sendo adaptável as qualidades do rejeito e local com licença por órgãos responsáveis ao meio ambiente.

- 6º Setor – sistema de tratamento de efluentes: setor onde acontece o recebimento e tratamento da água com resíduo resultantes da lavagem de equipamentos, veículos e líquidos oriundo do pátio de compostagem. Os detritos resultantes das usinas de compostagem são bem parecidos ao chorume gerado em aterros sanitários, porém um pouco mais dissolvido (JUNKES, 2002).

- **Reciclagem**

Se resulta em inúmeras ações onde o que seria lixo, são separados e arrecadados para que posteriormente sejam aproveitados como matéria prima. E ao retornar para a produção, colaboram aumentando a vida útil de áreas de disposição final, diminuindo a exploração de recursos naturais (SOARES, 2006).

De acordo com IBAM (2001), o mercado de reciclagem no Brasil tem tido um aumento significativo em recuperação de materiais.

Para que a matéria prima reciclada seja aceita em indústrias são exigidas três condições: escala de produção, regularidade no fornecimento e qualidade do material. Com isso o alcance de materiais classificados como corretos e limpos, além de facilitar sua comercialização tem uma valorização maior (MAGALHÃES, 2008).

#### **2.4.5 Limpeza dos logradouros públicos**

A limpeza de logradouros público consiste em limpar e varrer praias e feiras, capinar e raspar, roçar e podar jardins e praças públicas, limpeza de bueiros, córregos e pintura de calçadas.

Esses serviços são feitos por pessoas contratadas pelo município ou terceirizadas.

O IBAM (2001), diz que uma cidade limpa tem uma aparência melhor e mais valorizada, atraindo mais turistas e novos residentes. Com isso torna-se um interesse comunitário, contando com a participação permanente da sociedade para que se mantenha a manutenção, fiscalização.

## 2.5 Instrumentos econômicos na gestão de resíduos sólidos

Com o intuito de melhorar a qualidade ambiental os instrumentos econômicos (IEs) têm sido muito utilizados. Através dessa aproximação, compreendem uma série de possíveis mecanismos. As consequências envolvem punições e penalidades conectados ao habitual regulamento do tipo “comando e controle” (MOTA, RUITENBEEK & HUBER, 1996).

Instrumentos econômicos são sem sobra de dúvidas a alternativa mais econômica, eficaz e ambientalmente capaz de acrescentar abordagens específicas de comando e controle. Hipoteticamente por oferecer estímulos para que a poluição e danos ambientais sejam controlados, os IEs concedem um custo mais baixo fornecendo aos cofres públicos recursos desejados (MOTA, RUITENBEEK & HUBER, 1996).

Empregados pelas políticas ambientais, os IEs na maior parte dos casos são dirigidos por conexões tecnológicas, modelos e métodos, exigidos menos adaptável ao cliente, sem distinção espacial, isto é, não concebem abertamente custos individuais de cada cliente. Eles detectam altos níveis de poluentes, multando quem ultrapassar (MOTTA & SAYAGO, 1998).

De acordo com Mota e Sayago (1998), os instrumentos econômicos também estabelecem menores custos e conseguem alcançar a meta ambiental, embora disponham uma maior imposição para aplicação real, por necessitar de uma melhor compreensão para a examinação, gerando um aumento nos custos para os órgãos ambientais.

Neste trabalho, a gestão de resíduos sólidos urbanos para município de Volta Redonda, teremos como base a Teoria dos Certificados de Poluição concebida por John Dales no ano de 1996, que apresenta a mesma performance dos instrumentos econômicos, diminui gastos, atinge a meta ambiental, concedem administração em partes, e então a associação de moradores responsabiliza-se como Central de Resíduos. Desta forma fica como responsabilidade do bairro a constituição do mercado de resíduos orgânicos no método de certificados de créditos de poluição, determinando a quantidade de resíduos orgânicos que serão reciclados. É responsabilidade de cada

bairro fiscalizar de acordo com seus gastos se o resíduo orgânico será encaminhado para compostagem ou aterro sanitário municipal.

## 2.6 Geração de RSU

Segundo IBGE (2018), nos anos de 2017 e 2018 a geração de resíduos sólidos urbanos teve um aumento de 1%, chegando a 216.629 toneladas por dia. Porém a população também aumentou, com isso pode-se concluir que cada pessoa gerou pouco mais que um quilo de resíduo por dia. Nas figuras 6 e 7 apresentam a geração de resíduos tanto separado por regiões quanto num todo.

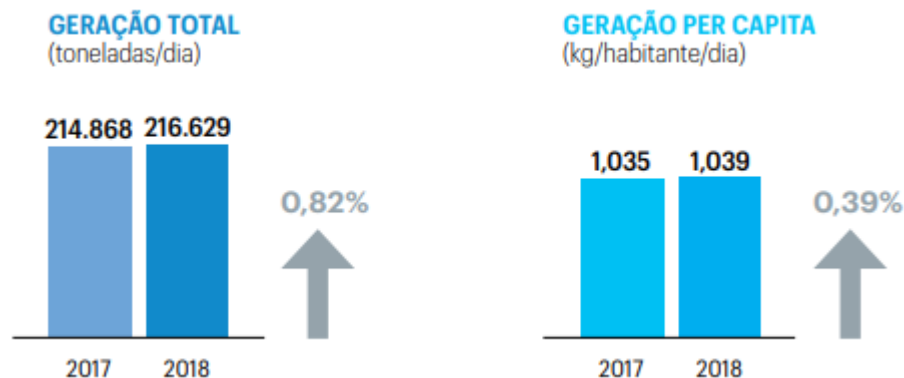


Figura 6: Geração de RSU no Brasil. Fonte: Abrelpe/IBGE – 2019.



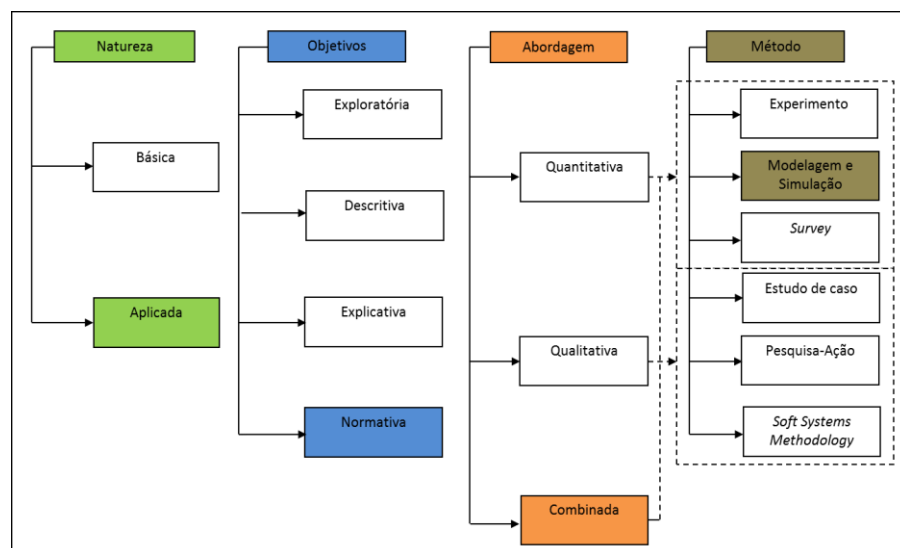
Figura 7: Geração de RSU per capita nas regiões (Kg/habitante/dia). Fonte: Abrelpe/IBGE – 2019.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Classificação da pesquisa

Quanto à natureza, a presente pesquisa é aplicada pois objetiva gerar conhecimentos para a aplicação na gestão de RSU. Quanto aos objetivos ela é normativa, pois envolve ações voltadas para o aperfeiçoamento de resultados disponíveis na literatura existente, para encontrar uma solução ótima. pois visa o desenvolvimento de instrumento econômico para a obtenção de uma solução ótima de gestão de RSU dada pelo alcance da meta ambiental determinada na PNRS a custos totais mínimos para a sociedade (HIGGINS, 2008). No que tange à abordagem, trata-se de uma pesquisa combinada (qualitativa e quantitativa), pois promove uma avaliação qualitativa de instrumentos de gestão previstos na PNRS e quantifica, a partir de um dado cenário escolhido, o instrumento de gestão de melhor custo-efetividade. O procedimento metodológico utilizado para a pesquisa proposta envolve modelagem e simulação pois ao estabelecer um cenário de gestão de RSU, propõe-se modelo matemático e realiza-se simulação (CALEMAN & ZYLBERSZTAJN, 2013) de modo a se obter a solução de melhor custo-efetividade tomando por base a solução obtida com a aplicação de instrumentos regulatórios, a qual é a atualmente utilizada no Brasil.

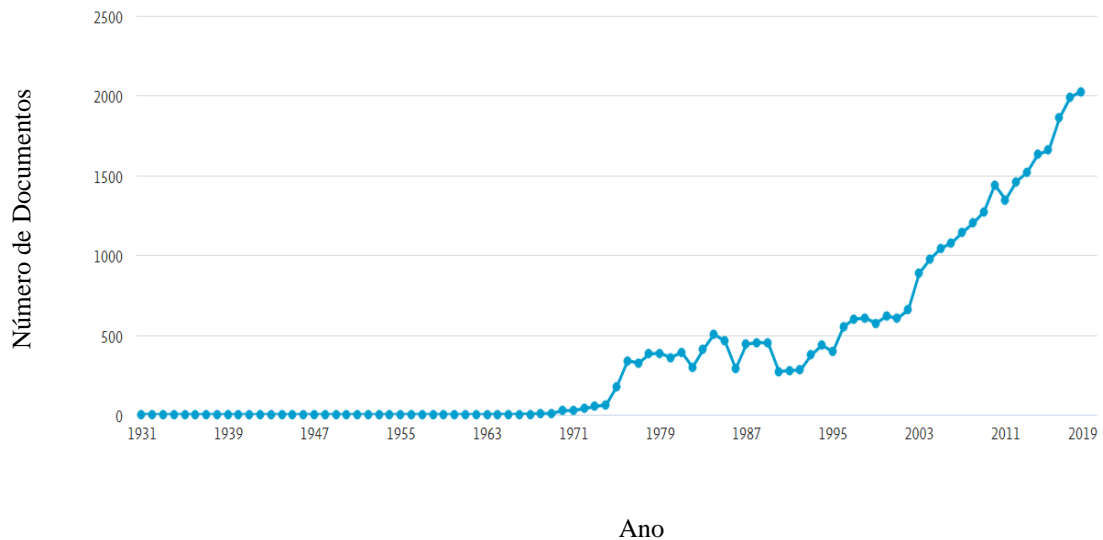
A classificação da presente pesquisa está mostrada no quadro 3.



Quadro 3: Classificação da pesquisa (SEVERINO, 2017).

### 3.2 Revisão sistemática da literatura

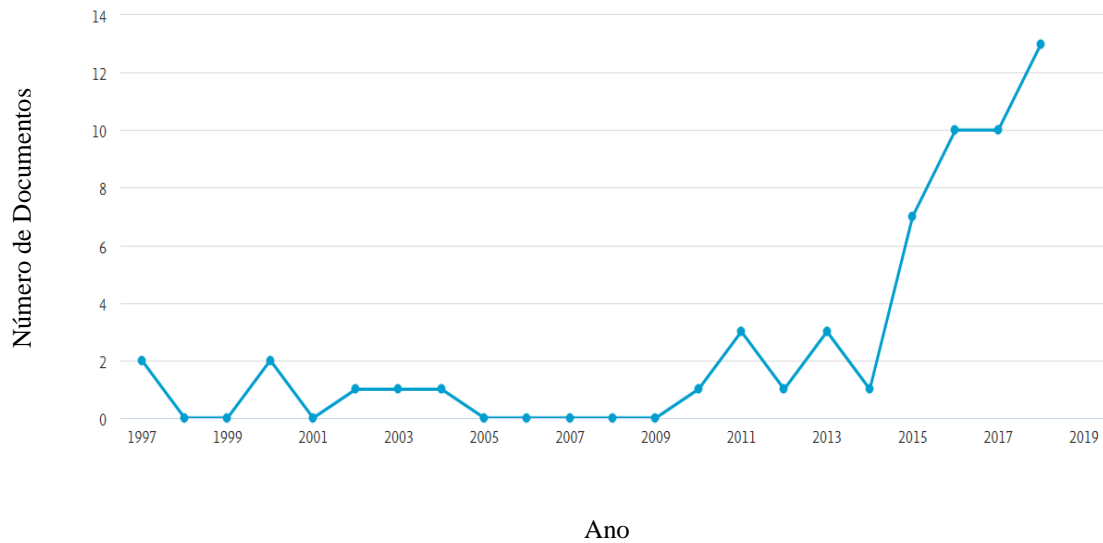
A fim de verificar o estado atual das pesquisas sobre o assunto proposto foi realizada uma revisão sistemática da literatura considerando as palavras-chave: *Solid waste management*; *Interchangeable licenses*; *Pollution Certificates*. Para essa finalidade foram utilizadas as bases de dados Scopus. Na figura 8 apresenta-se a pesquisa feita considerando *Solid waste management*.



**Figura 8 Citações de Instrumentos *Solid Waste management* por ano.**

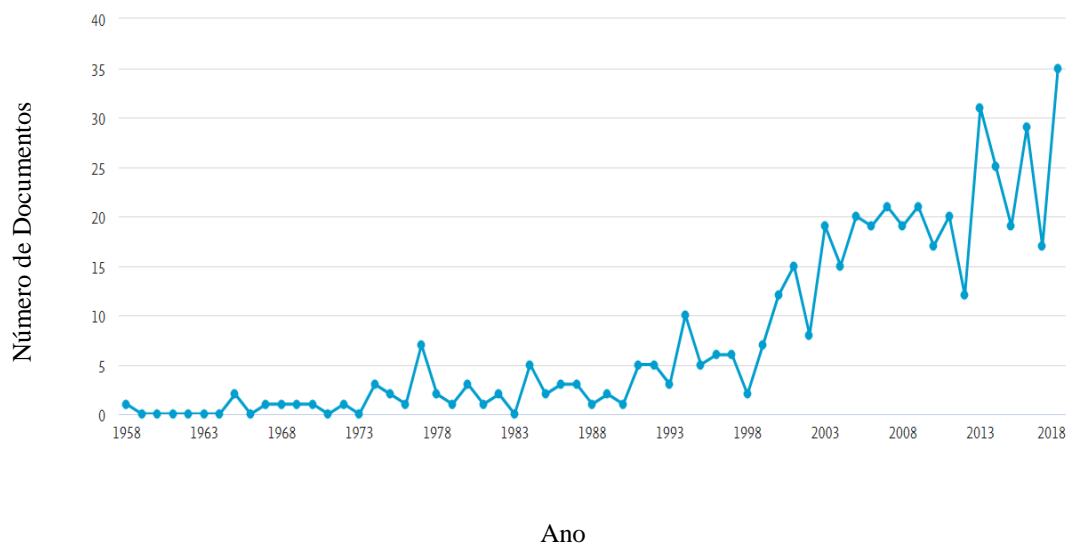
O resultado obtido revela 34.646 publicações sobre o tema, sendo o primeiro registro, segundo a base de dados da SCOPUS, ocorrido em 1931. A pesquisa foi realizada até 2018 e oportuniza a constatação do crescente interesse da comunidade acadêmica/científica por tal tema ao redor do mundo.

A figura 9 mostra o resultado obtido nas mesmas bases de dados quando a consideração é a palavra-chave: *Interchangeable licenses*.



**Figura 9: Citação de Interchangeable licenses por ano.**

O resultado obtido revela 56 documentos sobre o tema, sugerindo escassez de publicações nesta área. O primeiro registro, segundo a base de dados da SCOPUS, ocorreu em 1997. A pesquisa foi realizada até 2018 e oportuniza a constatação do crescente interesse da comunidade acadêmica/científica por tal tema ao redor do mundo. A figura 10 mostra o resultado obtido na mesma base de dados quando a consideração é a palavra-chave: *Pollution Certificates*.



**Figura 10 Citação de *Pollution Certificates* por ano.**

O resultado obtido revela 470 publicações sobre o tema, sendo o primeiro registro, segundo a base de dados da SCOPUS, ocorrido em 1958. A pesquisa foi realizada até 2018 e oportuniza a constatação do crescente interesse da comunidade acadêmica/científica por tal tema ao redor do mundo.

Unindo as três palavras-chave em uma única busca na plataforma SCOPUS, não houve retorno de nenhum documento publicado. Tal resultado sugere ineditismo da presente pesquisa.

### **3.3 Método proposto**

A metodologia para o presente trabalho, teve como partida o município de Volta Redonda, formado por cinquenta e quatro bairros, divididos em cinco setores produtores de resíduos sólidos urbanos e que tal produção seja 50% constituída por material orgânico (IBGE, 2018).

No modelo proposto seria cobrado uma taxa de coleta e tratamento desse material orgânico. A diferença é que tal taxa de coleta seria cobrada para duas situações completamente distintas. Na primeira delas, apenas 30% dos resíduos orgânicos seriam enviados a um aterro municipal por conta da necessidade de aumentar a vida útil do mesmo e os 70% dos resíduos orgânicos restantes seriam compostados.

Já na segunda situação, esses mesmos 30% do total de resíduos orgânicos gerados no município, seriam enviados a um aterro municipal, porém, seria concedido a cada setor o direito de comercializar certificados de créditos de resíduos orgânicos. Não necessariamente cada setor deveria enviar 30% de seus resíduos orgânicos para o aterro sanitário, sendo isso uma função dos custos marginais de coleta e disposição de cada setor.

Logo assumiu-se que dois setores de Volta Redonda, devido a uma característica específica, teriam sistemas de compostagem com capacidade para receber e tratar 70% do resíduo orgânico gerado em todo o município. Considerou-se também que seus dois setores dotados de unidade de compostagem, teriam a permissão concedida pelo poder público para prestar aos outros três na forma de coleta

e tratamento do resíduo orgânico gerado podendo cobrar por tal serviço. Assim, cada setor do município teriam uma central de recebimento dos resíduos orgânicos gerados pelos moradores pertencentes ao mesmo enviando parte dos seus resíduos para o aterro sanitário e parte para unidades de compostagem dos dois setores com essa capacidade nesse município.

Para uma visualização melhor, na figura 11 apresenta o cenário de divisão dos setores no mapa político do município de Volta Redonda.

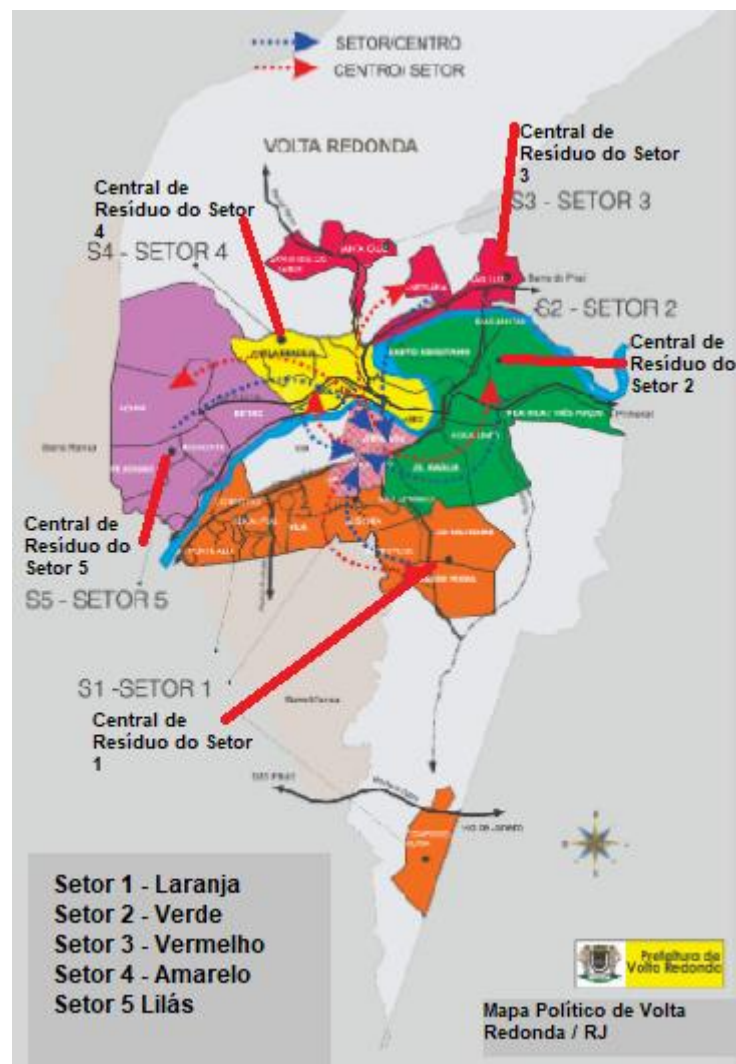
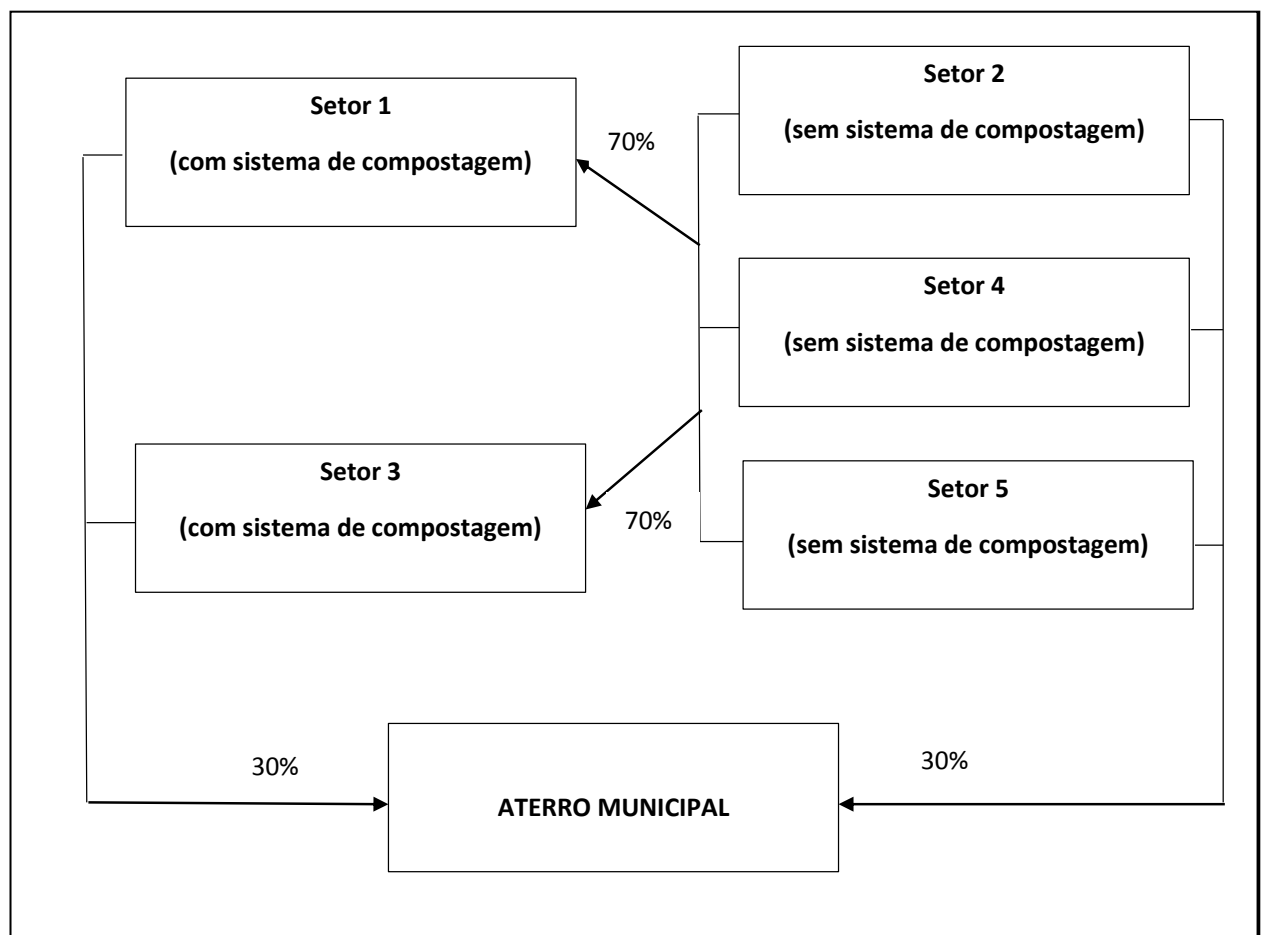


Figura 11: Adaptado Mapa Político de Volta Redonda/RJ. 2019

De acordo com esse cenário, fica mais fácil fazer a comparação dos custos de coleta e tratamento de resíduos orgânicos de disposição em aterros sanitários e a aplicação da Teoria de Certificados de Poluição sugerido por Jonh Dales no ano de 1996, associada a setores de compostagem independentes e dirigidos por associação de moradores.

O quadro 4 mostra um fluxograma para melhor entendimento do método proposto.



**Quadro 4: Fluxograma proposto de RSU entre os setores do município de Volta Redonda/RJ**

Quanto a quantidade de RSU gerado em Volta Redonda/RJ, o IBGE (2018) afirma que tal geração é de  $0,9 \text{ kg de RSU.habitante}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ . Quanto a população do referido município, segundo IBGE (2010) era de 257253 habitantes. Utilizando o modelo de projeção geométrica populacional sugerido pela Fundação Nacional de Saúde

(FUNASA), em seu manual de Saneamento (2015), tem-se as seguintes equações serem utilizadas para a determinação da população em 2020.

**Equação 1 - Coeficiente de Projeção Geométrica**

$$K = \frac{(\ln P_2 - \ln P_0)}{(t_2 - t_0)}$$

**Equação 2 - Projeção Geométrica Populacional**

$$P_t = P_0 \times e^{(K \times (t_2 - t_0))}$$

A partir dos dados de população por bairro do município de Volta Redonda, atualizados para o ano de 2020 e do agrupamento por setor mencionado anteriormente, considera-se que a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Volta Redonda/RJ distribuiria certificados de RSU para cada Setor do município em quantidade proporcional à geração dos mesmos. Considerando a meta de envio de apenas 30% de RSU para Aterro Sanitário, os certificados de RSU dos cinco Setores adquire valor de mercado sendo permitido aos mesmos que haja comercialização desde que a meta geral seja alcançada. Diante de tal cenário é apresentada simulação de custos totais sem comercialização de certificados, ou seja: apenas cumprindo a meta definida; e valor de custos totais com a comercialização de certificados.

A partir dos resultados obtidos para as duas hipóteses segue-se discussão a respeito da melhor estratégia de gestão de RSU para o referido município.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Geração de RSU por bairro em Volta Redonda

A cidade de Volta Redonda situada no estado do Rio de Janeiro, atualmente constitui 54 bairros regulamentados pela lei municipal, e sua gestão de resíduos sólidos urbanos (RSUs) é supervisionada, elaborada, ordenada, estruturada e efetuada pela Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos (SMOSP) localizada no bairro Retiro. (IBGE, 2010).

A tabela 1 apresenta a população atualizada utilizando as equações 1 e 2 descritas na seção 3 do presente trabalho, para o ano e 2020 e a geração de resíduos por bairro ao dia.

BAIRROS	POP.	QUAN. RES. (Kg/dia)	BAIRROS	POP.	QUAN. RES. (Kg/dia)
Aero Clube	2063	1856,8	Casa de Pedra	41986	37787,5
Barreira Cravo	1970	1773,3	Jardim Belvedere	6571	5913,5
Belo Horizonte	1054	948,3	Rio das Flores	206	185,7
Niterói	2150	1934,7	Roma	3619	3257,0
Retiro	28584	25725,6	Siderópolis	1908	1717,5
S. João Batista	907	825,9	Aterrado	6135	5521,9
Vila Brasília	18130	16317,2	Bela Vista	740	666,1
Vila Mury	8855	7969,1	Jardim Amália	11697	10526,9
Voldac	2026	1823,8	Jardim Paraíba	709	637,7
Açude	10216	9194,4	Laranjal	1956	1760,7
Belmonte	9018	8116,5	Monte Castelo	4244	3819,6
Jardim Belmonte	1565	1408,5	N. Sr.ª das Graças	1368	1231,2
Jd. Padre Josimo	5149	4633,8	São Geraldo	4040	3635,8
Siderlândia	9760	8783,7	São João	2895	2605,7
Candelária	1812	1631,2	Sessenta	2801	2521,2
Dom Bosco	2825	2542,9	Vila Santa Cecília	3727	3354,6
Pinto da Serra	784	705,6	Conforto	5445	4900,6
Santa Cruz	6982	6284,0	249	2632	2369,1
Santa Cruz II	2924	2631,5	Eucaliptal	5176	4658,1
Sta Rita do Zarur	3710	3338,9	Jardim Europa	989	890,0
São Luiz	6770	6093,4	Jardim Suíça	170	153,3
Água Limpa	11796	10616,4	Minerlândia	1304	1173,9
Brasilândia	3633	3269,8	Ponte Alta	2584	2325,2
Santo Agostinho	26972	24184,9	Rústico	1188	1068,8
Três Poços	6958	6262,3	Santa Inez	305	274,7
Vila Americana	5375	4837,4	São Cristóvão	1621	1458,5
Vila Rica	2715	2443,6	São Lucas	3233	2909,06

Tabela 1: Tabela da população e geração de RSU por bairro no município de Volta Redonda/RJ. 2020

A partir da atualização da população e conseqüentemente da geração de RSU, na tabela 2 tem-se a distribuição da população por setor.

Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5
249	Água Limpa	Candelária	Aero Clube	Açude
Bela Vista	Brasilândia	Dom Bosco	Aterrado	Belmonte
Casa de Pedra	Jd Amália	Pinto da Serra	Barreira Cravo	Belo horizonte
Conforto	Sto Agostinho	Santa Cruz	Jd Paraíba	Jd Belmonte
Eucaliptal	São João	Santa Cruz II	N. Sr. <sup>a</sup> das Graças	Jd. Padre Josimo
Jd Belvedere	Três Poços	São Luiz	Niterói	Retiro
Jd Europa	Vila Americana	Sta Rita do Zarur	S. João Batista	Siderlândia
Jd Suíça	Vila Rica		Vila Brasília	
Laranjal			Vila Mury	
Minerlândia			Voldac	
Monte Castelo				
Ponte Alta				
Rio das Flores				
Roma				
Rústico				
Santa Inez				
São Cristóvão				
São Geraldo				
São Lucas				
Sessenta				
Siderópolis				
Vila Santa Cecília				

**Tabela 2: Distribuição da população por setor.**

A tabela 3 mostra o somatório da população e a geração de resíduo por setor.

Setores	População	Quant. de RSU (Kg/dia)
<b>Setor 1</b>	95945	86350,5
<b>Setor 2</b>	72041	64836,9
<b>Setor 3</b>	25807	23226,3
<b>Setor 4</b>	44313	39881,7
<b>Setor 5</b>	65346	58811,4
<b>TOTAL</b>	<b>303452</b>	<b>273106,8</b>

**Tabela 3: Somatório da população e resíduo gerado por setor.**

Segundo este cenário seria possível comparar os custos de coleta e tratamento dos resíduos orgânicos de disposição em aterros sanitários e a aplicação da Teoria dos Certificados de Poluição proposta inicialmente por John Dales em 1968, consorciada a unidades de compostagem independentes e administradas por associações de moradores. A tabela 4 mostra a produção de resíduos orgânicos estabelecida para cada setor definido, sendo que o cálculo apresentado foi o de aplicar o fator de 50% aos valores de RSU gerado em cada setor.

**Tabela 4: Distribuição do número de habitantes e geração de resíduos orgânicos no município de Volta Redonda/RJ**

<b>Setor</b>	<b>População</b>	<b>Geração de Resíduos Orgânicos (t/dia)</b>
1	95.945	43,2
2	72.041	32,4
3	25.807	11,6
4	44.313	19,9
5	65.346	29,4
Total	303.452	136,5

Na primeira situação, considerou-se que os setores considerados teriam a coleta e a disposição de seus resíduos orgânicos regulados pelo poder público de modo que apenas 30% desses resíduos poderiam ser destinados a aterro sanitário sendo o restante enviado para a compostagem nos setores vocacionados para tanto (setores 1 e 3 no caso). Cada setor deveria necessariamente enviar 30% dos resíduos orgânicos para o aterro sanitário.

Na segunda situação, os setores 1 e 3 teriam capacidade e permissão concedida pelo poder público para atuarem como agentes coletores e tratadores de 70% dos resíduos orgânicos neste mercado e que os cinco teriam liberdade para enviar para o aterro sanitário quantidades de resíduos orgânicos que minimizassem os custos de

coleta e disposição dos mesmos desde de que mantida a meta de que 30% dos resíduos orgânicos totais fossem enviados ao aterro sanitário.

Nessa situação, considerou-se que os setores 1 e 3 para assumirem no modelo, a função de mais vocacionados para a realização de compostagem de resíduos podendo prestar serviços para os demais setores, inclusive de coleta de resíduos. Em paralelo, nessa configuração, as associações de moradores de cada setor seriam organizadas e representativas o suficiente para manterem nos seus respectivos limites territoriais uma central de resíduos orgânicos (CRO) para a qual os moradores enviariam diariamente seus resíduos. Para a simulação foram considerados os custos marginais de resíduos orgânicos (CMg) sugeridos por faixa de população por Araujo *et al* (2019) e constantes da Tabela 5.

**Tabela 5: Quantitativos de RSU e Custos Marginais - 1ª Situação.**

<b>Setor</b>	<b>Geração de Resíduos Orgânicos (t/dia)</b>	<b>CMg de Resíduos Orgânicos (R\$/t)</b>
1	30,2	R\$ 84,00/t
2	22,7	R\$ 105,00/t
3	8,1	R\$ 70,00/t
4	13,9	R\$ 112,00/t
5	20,6	R\$ 126,00/t
Total	95,5	....

Considerando a aplicação do padrão governamental estabelecido com cada setor tendo que destinar 30% dos seus resíduos orgânicos para o aterro sanitário e o restante compostar nos setores 1 e 3 do município, o cálculo dos custos totais com a coleta e a destinação (compostagem) dos resíduos orgânicos com a utilização do padrão governamental estão representados a seguir.

$$CT_{Setor1} = 0,7 \times 30,2 \text{ (t/d)} \times R\$ 84,00/t = - R\$ 1775,76/\text{dia}$$

$$CTSetor2 = 0,7 \times 22,7 \text{ (t/d)} \times R\$ 105,00/t = - R\$ 1668,45/dia$$

$$CTSetor3 = 0,7 \times 8,1 \text{ (t/d)} \times R\$ 70,00/t = - R\$ 396,90/dia$$

$$CTSetor4 = 0,7 \times 13,9 \text{ (t/d)} \times R\$ 112,00/t = - R\$ 1089,76/dia$$

$$CTSetor5 = 0,7 \times 20,6 \text{ (t/d)} \times R\$ 126,00/t = - R\$ 1816,92/dia$$

A tabela 6 mostra um resumo de gastos utilizando a estratégia adotada na 1ª situação.

**Tabela 6: Demonstrativo de Custos Totais sem utilizar a Teoria dos Certificados de Poluição.**

<b>Setor</b>	<b>Envio para Aterro (t)</b>	<b>Envio para Compostagem (t)</b>	<b>Gasto Final (R\$/dia)</b>
1	9,0	21,2	-R\$ 1775,76
2	7,0	15,7	-R\$ 1668,45
3	2,4	5,7	-R\$ 396,90
4	4,2	9,7	-R\$ 1089,76
5	6,2	14,4	-R\$ 1816,92
Total	28,8	66,7	-R\$ 6.747,79

Na segunda situação, na qual por determinação governamental apenas 30% dos resíduos orgânicos deveriam ser destinados ao aterro sanitário, mas não necessariamente por setor, optou-se por avaliar a aplicabilidade da Teoria dos Certificados de Poluição em termos de custos e de atendimento à meta ambiental. Para tanto, estabeleceu-se que a autoridade governamental distribuiria créditos de resíduos orgânicos entre os cinco setores, proporcionalmente às respectivas emissões dos mesmos, e ainda permitiria que esses créditos fossem comercializados. Apesar do valor desses créditos variar conforme as leis de oferta e demanda, para fins de cálculo considerou-se, para fins de simulação, o valor de R\$90,00 por tonelada de resíduo orgânico a ser compostado. Desse modo, foi possível construir a Tabela 7 em que se

tem o número de certificados de créditos de resíduos orgânicos distribuídos pelo poder público a cada setor.

**Tabela 7: Quantitativos de Créditos de Resíduos Orgânicos**

<b>Setor</b>	<b>Certificados de Créditos de Resíduos Orgânicos</b>
1	$0,3 \times 30,2 = 9$
2	$0,3 \times 22,7 = 7$
3	$0,3 \times 8,1 = 3$
4	$0,3 \times 13,9 = 4$
5	$0,3 \times 20,6 = 6$
Total	$0,3 \times 95,5 = 29$

A partir dos dados da Tabela 7 foi possível calcular os custos totais de cada setor com aplicação da Teoria dos Certificados de Poluição conforme demonstrado a seguir.

Setor 3 – Composta 70% de sua geração de resíduos orgânicos e gasta:  $5,1 \times R\$70,00 = - R\$ 357,00/\text{dia}$ . O setor possui 3 certificados e teria que enviar para o aterro 3,0 t de Resíduos Orgânicos por dia. Então, o setor composta adicionalmente 30% de sua geração de resíduos orgânicos e gasta:  $3,0 \times R\$ 70,00 = - R\$ 210,00/\text{dia}$  para que possa vender seus certificados. Vende seus 3 certificados:  $3 \times 90,00 = + R\$ 270,00$ . O saldo final que o setor 3 possui é de:  $- R\$357,00/\text{dia} - R\$ 210,00/\text{dia} + R\$270,00/\text{dia} = - R\$297,00/\text{dia}$ . Este setor enviará 0,0 toneladas de resíduo orgânico para o aterro e 8,1 toneladas de resíduo orgânico para a compostagem.

Setor 5 – Recebe do poder público 6 certificados e por isso tem que compostar 14,6 t/dia de resíduos orgânicos. Ao invés de compostar tal quantidade, o Setor 5 compra 3 certificados do Setor 3 e gasta com este ato:  $3 \times R\$90,00 = - R\$270,00/\text{dia}$ . Ele deverá então enviar ao aterro 9 t/dia e compostar portanto 5,6 t/dia para atender ao regulamento governamental, gastando  $5,6 \times 126,00 = - R\$ 705,60$ . O saldo deste setor

será de: - R\$975,60/dia. Este setor enviará 11,6 toneladas de resíduo orgânico para a compostagem e 9,0 toneladas de resíduo orgânico para o aterro municipal.

Setor 4 - Recebe do poder público 4 certificados e, por esta razão, tem que compostar 9,9 t/dia e dispor em aterro 4 t/dia de resíduos orgânicos. Nesse caso ele gasta:  $0,7 \times 13,9 \text{ (t/d)} \times \text{R\$ } 112,00/\text{t} = - \text{R\$ } 1089,76/\text{dia}$ . Este setor enviará 9,9 toneladas de resíduo orgânico para a compostagem e 4 toneladas de resíduo orgânico para o aterro municipal.

Setor 1 – Composta 70% de sua geração de resíduos orgânicos e gasta:  $0,7 \times 30,2 \text{ (t/d)} \times \text{R\$ } 84,00/\text{t} = - \text{R\$ } 1775,76/\text{dia}$ . Este setor enviará 9 toneladas de resíduo orgânico para o aterro e 21,2 toneladas de resíduo orgânico para a compostagem.

Setor 2 – Recebe do poder público 7 certificados e por isso tem que compostar 15,9 t/dia de resíduos orgânicos. O setor 2 gasta:  $0,7 \times 22,7 \text{ (t/d)} \times \text{R\$ } 105,00/\text{t} = - \text{R\$ } 1668,45/\text{dia}$ . Este bairro enviará 7 toneladas de resíduo orgânico para o aterro e 15,7 toneladas de resíduo orgânico para a compostagem.

A tabela 8 a seguir mostra o custo total final de cada setor após a aplicação da Teoria dos Certificados de Créditos de Poluição para os resíduos sólidos orgânicos considerando que 30% desses resíduos devem destinados para o aterro municipal.

Tabela 8: Demonstrativo de Custos Totais utilizando a Teoria dos Certificados de Poluição.

Setor	Nº de Certificados Final	Envio para Aterro (t)	Envio para Compostagem (t)	Gasto Final (R\$/dia)
1	9	9,0	21,2	-R\$ 1775,76
2	7	7,0	15,7	-R\$ 1668,45
3	0	0,0	8,1	-R\$ 297,00
4	4	4,0	9,9	-R\$ 1089,76
5	9	9,0	11,6	-R\$ 975,60
Total	29	29,0	66,5	-R\$ 5.806,57

Segundo os resultados obtidos em termos de custos totais com resíduos orgânicos no município de Volta Redonda/RJ, para a meta ambiental estabelecida de 30% dos resíduos orgânicos para aterro sanitário, pode-se perceber que a estratégia de gestão baseada na Teoria dos Certificados de Poluição consegue 14,0 % de economia quando comparada à situação em que não há negociação entre os bairros. A Tabela 9 mostra esses resultados bem como os percentuais de reduções de custos totais por bairro com a negociação dos certificados de resíduos orgânicos entre as partes.

Tabela 9: Comparativo de Custos Totais para as duas situações estudadas.

Setor	Custo Total s/ negociação	Custo Total c/ negociação	Redução de Custos (%)
1	-R\$ 1775,76	-R\$ 1775,76	0,00
2	-R\$ 1668,45	-R\$ 1668,45	0,00
3	-R\$ 396,90	-R\$ 297,00	25,2
4	-R\$ 1089,76	-R\$ 1089,76	0,00
5	-R\$ 1816,92	-R\$ 975,60	46,3
Total	R\$ 6.747,79/d	R\$ 5.806,57/d	14,00

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que para o cenário descrito, o uso da teoria dos certificados garantiria ao município de Volta Redonda/RJ menores custos na gestão de resíduos sólidos urbanos de natureza orgânica, por se beneficiar de economias de escala; ou seja: permitindo que uma descentralização de gestão acompanhada de autorização para negociação entre as partes atinja à meta ambiental de forma mais barata.

Considerando o fato de que aplicações do método proposto não foram encontradas, a governança do processo não foi detalhada por se tratar de algo bastante específico e dependente do sistema de gestão de RSU de cada administração municipal. Da mesma forma o presente trabalho não abordou possíveis usos para o composto orgânico a ser gerado, bem como a forma de participação das cooperativas de catadores e a própria logística envolvida em tal processo. Desse modo, tais estudos complementares são aqui vistos como oportunidades de melhorias, inclusive considerando outras fontes de pesquisas; em eventual especialização a ser desenvolvida futuramente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrelpe – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2018. ABRELPE. São Paulo, 2018.

Araujo, M. V. F. et al (2019). Solid Waste Management by Consideration of the Pollution Credit Certificates Theory. 4th International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics. Guimarães, Portugal.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 10004: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

Aziz, N. A. A., Yau, F. S., San, O. T., & Attan, H. (2015). A Review on Green Integration into Management Control System. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 172, p. 435-441.

Bachi, M. H. (2013). Resíduos Tecnológicos: A relação dos Resíduos Eletroeletrônicos e a Legislação no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 7(1), 01-05.

Bittencourt, P. T. (2014). Metodologia de elaboração do plano de gerenciamento de resíduos sólidos da UFSC Campus Florianópolis.

Brasil. (2010c) Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF.

Brasil, Ministério do Meio Ambiente. Guia para a elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos. Brasília DF, 2011.

Caleman, S. M. D. Q., & Zylbersztajn, D. (2013). Organizational failures: typology, determinants and a proposed theoretical model. *Organizações & Sociedade*, 20(65), 261-282.

Cunha, V.; Caixeta Filho, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. *Gestão e Produção*. V.9, n.2, p.143-161, ago. 2002.

Daly, H. E., & Farley, J. (2011). *Ecological economics: principles and applications*. Island press.

Feam. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Orientações técnicas para a operação de usina de triagem e compostagem do lixo. Belo Horizonte: FEAM, 2005. 52p.

Higgins, J. P. (Ed.). (2008). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions* (Vol. 5).

IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Manual Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

IBGE - Instituto de Geografia e Pesquisa. Censo 2000. Brasília.

IBGE - Instituto de Geografia e Pesquisa. Censo 2010. Brasília.

Gurgel Júnior, F. J. (2018). Panorama da gestão de resíduos em Volta Redonda/RJ. *Cadernos UniFOA*, 12(35), 35-46.

Junkes, M. B. Procedimentos para Aproveitamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Municípios de Pequeno Porte. Florianópolis: 2002. 116f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

Logarezzi, A. Contribuições conceituais para o gerenciamento de resíduos sólidos e ações de educação ambiental. In: Resíduos Sólidos no Pontal do Paranapanema. Presidente Prudente: Antonio Thomaz Junior, 2004. 276 p

Lopes, A. A. Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP). São Carlos: 2003. 194f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ciências da Engenharia Ambiental) – escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo.

Magalhães, D. N. (2008). Elementos para o diagnóstico e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos do município de dores de campos–MG. *Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora.*

Motta, Ronaldo Seroa da; Ruitenbeek, Jack; Huber, Richard (1996). Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: lições e recomendações.

Seibert, A. L. (2014). A importância da gestão de resíduos sólidos urbanos e a conscientização sobre sustentabilidade para a população em geral.

Setta, B. R. S. Análise preliminar da degradação ambiental na área do lixão do município de Volta Redonda- RJ. Anais do 5º Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade. 2016. 09p

Severino, A. J. (2014). Metodologia do trabalho científico. Cortez editora.

Soares, J. H. P. Gerenciamento de resíduos sólidos: curso de especialização em análise ambiental, maio de 2006. 142f.. Notas de aula.

Sung, T. C., & Mori, K. K. (2011). Resíduos Sólidos Urbanos: uma abordagem metropolitana