Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais - PPGCTA

Ana Luísa Santos de Carvalho

IMPACTO AMBIENTAL E PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM PORTO SEGURO – BA

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi

PORTO SEGURO - BA

FEV – 2020

Ana Luísa Santos de Carvalho

IMPACTO AMBIENTAL E PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM PORTO SEGURO – BA

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Sul da Bahia e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais para obtenção do Título de Mestre em Ciências e Tecnologias Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Berton Zanchi

PORTO SEGURO - BA

FEV – 2020

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul da Bahia - Sistema de Bibliotecas

C331i Carvalho, Ana Luisa Santos de Carvalho, 1995 -
Impacto ambiental e previsão da geração de resíduos sólidos em Porto Seguro – BA. / Ana Luisa Santos de Carvalho. – Porto Seguro, 2020.
70 f.

Orientador: Fabrício Berton Zanchi
Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Sul da Bahia. Campus Sosígenes Costa. Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais.

1. Análise Socioambiental. 2. Modelagem Dinâmica. 3. Gestão de Resíduos. I. Zanchi, Fabrício Berton. II. Título.

CDD:363.70071

Elaborado por Lucas Sousa Carvalho - CRB-5/1883

IMPACTO AMBIENTAL E PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM PORTO SEGURO – BA

Comissão Julgadora

_____

Prof. Dr. MARCUS LUCIANO DE FERREIRA BANDEIRA
INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA

_____

Prof. Dr. ELFANY REIS DO NASCIMENTO LOPES
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA

_____

Prof. Dr. THIAGO MAFRA BATISTA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA

Aprovada em: 14/02/2020
Local da Defesa: Universidade Federal do Sul da Bahia

Dedico este trabalho aos meus pais, Geane e Ronaldo, a minha irmã, Isabela, a minha sobrinha, Laura, e ao meu noivo, Wander.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por seus milagres diários, concedendo meios e forças para alcançar meus objetivos de crescimento pessoal e profissional.

Aos meus pais, Geane e Ronaldo, por sempre me incentivarem a buscar meus sonhos e sonharem comigo. A vocês devo o que sou hoje.

À minha irmã, Isabela, pelo apoio incondicional em minha trajetória de vida, preocupação com meu bem-estar e incentivo em todas as minhas conquistas.

Ao meu noivo, Wander, por ter se disponibilizado a contribuir no desenvolvimento deste estudo desde o seu início, por ter se comprometido a nos ajudar de forma voluntária e, principalmente, pelo incentivo em todos os momentos que precisei.

Ao Dr. Fabrício Berton Zanchi, meu orientador, sem o qual esse trabalho não teria começado, pelo compromisso, orientação durante estes anos e paciência quando surgiram imprevistos e dúvidas.

Aos meus colegas de pesquisa Raiane, Leonilton e Rafael pelas trocas de experiências, ajuda no desenvolvimento da pesquisa e por terem tornado a jornada mais agradável frente aos desafios que enfrentamos.

Aos meus amigos Natalia, Maria Amélia, João Paulo e Mateus que estiveram durante o período do mestrado escutando os desabafos e incentivando a continuar a jornada.

A minha família, especialmente aos meus avós maternos e tias, que sempre estiveram ao meu lado torcendo por minhas conquistas.

Aos professores Dr. Allison Gonçalves, Dr. Marcus Bandeira e Dr. Elfany Lopes pelo apoio e contribuições durante a pesquisa.

Aos catadores do lixão de Porto Seguro pelas trocas de experiências enriquecedoras e contribuição na coleta dos dados utilizados no estudo.

A Prefeitura Municipal de Porto Seguro por ter possibilitado acesso ao campo de pesquisa e pelos dados cedidos.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia pela concessão da bolsa que possibilitou maior dedicação e empenho à pesquisa.

Expresso a cada um de vocês a minha profunda gratidão.

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso” John Ruskin

SUMÁRIO

RESUMO GERAL 11
ABSTRACT 12
LISTA DE TABELAS 13
LISTA DE QUADROS 14
LISTA DE FIGURAS 15
INTRODUÇÃO GERAL 16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 18
ARTIGO 1 20
RESUMO 20
ABSTRACT 20
INTRODUÇÃO 21
METODOLOGIA 22
ÁREA DE ESTUDO 22
MÉTODO 24
RESULTADOS E DISCUSSÃO 25
CONSIDERAÇÕES FINAIS 33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 33
ARTIGO 2 38
RESUMO 38
ABSTRACT 39
INTRODUÇÃO 39
METODOLOGIA 41
RESULTADOS E DISCUSSÃO 43
PROPOSTA DE MODELO 43
VALIDAÇÃO DO MODELO 49
CONSIDERAÇÕES FINAIS 50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50
ARTIGO 3 54
RESUMO 54
ABSTRACT 54
INTRODUÇÃO 55
METODOLOGIA 56
ÁREA DE ESTUDO 56
COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA 58

MODELO DINÂMICO 60
RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
CONSIDERAÇÕES FINAIS 66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67
CONCLUSÃO GERAL 70

IMPACTO AMBIENTAL E PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM PORTO SEGURO – BA

RESUMO GERAL

O crescente aumento e diversificação na produção dos resíduos sólidos urbanos-RSU, atrelado as mudanças de hábitos de consumo, tem tornado a disposição final deste, um dos principais desafios a serem enfrentados no mundo. Em grande parte dos municípios no Brasil, esse problema se agrava devido ao despejo inadequado a céu aberto sem o tratamento apropriado. Essa realidade não é diferente para Porto Seguro – BA, que possuiu um aterro sanitário e foi descontinuado, tornando-se um lixão a céu aberto e está provocando diversos problemas ambientais. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de impacto ambiental do sistema de disposição final dos resíduos no município, propor um modelo dinâmico e estimar a geração e o retorno financeiro proporcionados pelos resíduos sólidos no local. As metodologias de verificação de impacto adotadas foram o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e análise espacial utilizando o *software* QGIS, enquanto que, a construção do modelo dinâmico se deu no *software* STELLA, considerado aspectos referentes ao sistema vigente da disposição final e os componentes produzidos caracterizados conforme a metodologia proposta pela NBR 10.007 da ABNT. Os resultados indicaram que o local apresenta condições inadequadas, não atendendo aos requisitos mínimos das normas técnicas para gerenciamento de resíduos quanto aos aspectos socioambientais. A análise espacial constatou a presença de núcleos habitacionais no entorno do local, a proximidade de hidrografias, entre elas o Rio Buranhém futuro manancial para abastecimento da região e que apresenta significativa importância para o território da Costa do Descobrimento. O estudo também indicou a presença predominante de matéria orgânica para os três setores analisados. Nos hotéis situados na orla foram encontrados uma quantidade significativa de materiais como plástico, PET, papel e papelão. A produção diária dos resíduos nos períodos de baixa temporada é de 150 toneladas e de alta temporada é de 212,5 toneladas, com produção *per capita* média de 1,5 kg/dia. A modelagem indicou o acumulado de 1.467.657.296,23 kg ao final do período de 20 anos, sendo que 651.233.215,86 kg de resíduos orgânicos, que correspondem a 44,37% do total gerado. Dado o exposto, conclui-se que, os resíduos provenientes da população local são predominantemente orgânicos, podendo serem estes, destinados para geração de energia e/ou para produção de adubo através do processo de compostagem. Ao passo que, os resíduos produzidos pelo turismo podem ser reaproveitados através da reciclagem, colaborando para diminuir os resíduos sólidos que são destinados ao lixão. Uma vez que, pela quantidade de RSU produzida, o próprio aterro poderia ser mantido com a reciclagem e reuso dos materiais. Ademais, é necessário estabelecer estratégias e adotar medidas que atendam a demanda local e assegurem a gestão e o manejo adequado dos resíduos.

Palavras-chave: Análise Socioambiental; Modelagem Dinâmica; Gestão de Resíduos.

ENVIRONMENTAL IMPACT AND PREDICTION OF SOLID WASTE GENERATION IN PORTO SEGURO – BA

ABSTRACT

The increasing increase and diversification in the production of solid urban waste-RSU, coupled with changes in consumption habits, has made the final disposal of this, one of the main challenges to be faced in the world. In most municipalities in Brazil, this problem is aggravated by inadequate open-air dumping without proper treatment. This reality is no different for Porto Seguro - BA, which owned a landfill and was discontinued, becoming an open-air dump and causing several environmental problems. In this sense, the objective of this work was to carry out an environmental impact study of the final waste disposal system in the municipality, to propose a dynamic model and to estimate the generation and financial return provided by the solid waste at the site. The impact verification methodologies adopted were the Waste Landfill Quality Index (IQR) of the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) and spatial analysis using the QGIS software, while the construction of the dynamic model took place in the software STELLA, considered aspects related to the current system of the final disposition and the components produced, characterized according to the methodology proposed by NBR 10.007 of ABNT. The results indicated that the site presents inadequate conditions, not meeting the minimum requirements of the technical standards for waste management regarding socio-environmental aspects. The spatial analysis found the presence of housing units around the site, the proximity of hydrographs, including the Buranhém River, a future source for supplying the region and which has significant importance for the territory of the Costa do Descobrimento. The study also indicated the predominant presence of organic matter for the three sectors analyzed. In the hotels located on the shore, a significant amount of materials were found, such as plastic, PET, paper and cardboard. The daily production of waste in the low season is 150 tonnes and the high season is 212.5 tonnes, with an average per capita production of 1.5 kg / day. The modeling indicated the accumulated of 1,467,657,296.23 kg at the end of the 20-year period, with 651,233,215.86 kg of organic waste, corresponding to 44.37% of the total generated. Given the above, it is concluded that the waste coming from the local population is predominantly organic, which may be this, destined for energy generation and / or for the production of fertilizer through the composting process. Whereas, the waste produced by tourism can be reused through recycling, collaborating to reduce the solid waste that is sent to the dump. Since, due to the quantity of MSW produced, the landfill itself could be maintained with the recycling and reuse of materials. In addition, it is necessary to establish strategies and adopt measures that meet local demand and ensure proper waste management and management.

Keywords: Social and Environmental Analysis; dynamic model; waste management.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 3

Tabela 1: Componentes identificados no lixão de Porto Seguro destinados a reciclagem e o seu preço de venda. 59

Tabela 2: Composição gravimétrica dos RSU de Porto Seguro – BA. 61

Tabela 3: Projeção total da produção para o primeiro e o vigésimo ano e lucro total com a venda dos RSU que são comercializados em Porto Seguro – BA. 63

LISTA DE QUADROS

ARTIGO 1

Quadro 1: Avaliação da infraestrutura implantada e condições operacionais do lixão de Porto Seguro, Bahia, Brasil. 26
Quadro 2: Parâmetros de avaliação. 28
Quadro 3: Parâmetros de avaliação das características do local. 29

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1: Localização do lixão do município de Porto Seguro – BA. 23
Figura 2: Amontoado de resíduos dispostos em local de declividade no lixão.....27
Figura 3: Distância Euclidiana do lixão de Porto Seguro, Bahia em relação aos aspectos socioambientais do seu entorno. 31

ARTIGO 2

Figura 1: Interface gráfica do STELLA, que trabalha com fluxogramas e ajustes equacionais e parâmetros relativos a calibração e desenvolvimento do modelo. 41
Figura 2: Representação no STELLA dos ícones de estoques, fluxos, conversores e conectores, respectivamente. 42
Figura 3: Fluxograma do processo de construção do modelo dinâmico de resíduos sólidos proposto por este estudo. 43
Figura 4: Diagrama da relação da dinâmica populacional considerada no modelo. 46
Figura 5: Representação esquemática do modelo dinâmico de fluxo e estoque construído e interações entre as variáveis de entrada, resultando no MDRS. 48
Figura 6: Resultados da validação da (a) população e dos (b) resíduos acumulados. 49

ARTIGO 3

Figura 1: Localização espacial do lixão de Porto Seguro - BA. 58
Figura 2: Representação esquemática da metodologia de quarteamento dos resíduos sólidos. 59
Figura 3: Modelo Dinâmico de Resíduos Sólidos. 60
Figura 4: Característica dos resíduos sólidos identificados nos setores analisados. 62
Figura 5: Comparação do quantitativo total de resíduos e de material orgânico gerado durante o período de 20 anos. 65

INTRODUÇÃO GERAL

É indiscutível que a produção dos Resíduos Sólidos (RS) é impossível de ser evitada da vida humana e das atividades econômicas (YOSHIDA, 2020). O crescente aumento na geração e a diminuição do potencial de disposição dos resíduos, atrelado as preocupações ambientais e estipulações políticas e legislativas, tem influenciado de forma considerável nas práticas municipais de gestão dos resíduos (SINGH, 2019). A gestão do RS é um assunto altamente relevante em todo o mundo por conta das dificuldades relacionadas à sua coleta, ao seu transporte e ao seu acondicionamento (MOZHIARASI et al., 2020).

Os RS são definidos pela NBR 10.004 da ABNT (2004) como sendo resíduos que se encontram nos estados sólidos e semissólido, decorrentes de ações de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Podendo ser classificados quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto a natureza ou origem, bem como identificado quanto as suas características físicas, químicas ou biológicas (IBAM, 2008).

No Brasil, de acordo com dados da ABRELPE (2019), a produção dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) totalizou 78,4 milhões de toneladas em 2017, sendo que deste total, 40,9% dos resíduos coletados foram destinados por 3.352 municípios brasileiros a lugares inadequados. Ainda que o país tenha avançado quanto a inserção de políticas para os RS, muitos munícipios descartam os resíduos de modo inadequado, gerando consequências como a contaminação das águas e do solo e a proliferação de vetores transmissores de doenças (ARAÚJO et al., 2019).

No caso dos municípios turísticos essa situação se torna ainda mais preocupante, pois, de acordo com Greco et al., (2017), pesquisas realizadas em municípios turísticos apontaram que houve incremento nos RS gerados, dado que o turismo sazonal eleva a população do município. Diversos autores investigaram o impacto ocasionado pelo turismo na geração dos RS, Shamshiry et al., (2011), por exemplo, concluíram que a geração *per capita* de RS do turismo é o dobro que a dos residentes locais, além de serem responsáveis por gerarem uma quantidade expressiva de resíduos líquidos.

Os perceptíveis problemas ambientais no país impulsionaram a necessidade de se realizar uma discussão aprofundada acerca das questões dos resíduos, decorrendo na criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecida pela Lei nº 12.305/2010 (GARCIA et al., 2015). Essa política é responsável por orientar quanto à gestão integrada e o gerenciamento dos RS, às responsabilidades dos geradores e do poder público e dos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

Frente ao exposto, depreende-se que é imprescindível a adoção de estratégias que contribuam no apoio à tomada de decisões para a gestão adequada dos resíduos. Dentre as estratégias, estão os

modelos de previsão da geração dos RS, apontado por Silva et al. (2019) como sendo essencial para o processo de planejamento do quantitativo de resíduos gerados. A previsão serve de apoio para adequar as condições de infraestrutura, para o desenvolvimento sustentável, otimizar os fundos destinados para o tratamento dos RSU e na tomada de decisão (MERELLES et al., 2019).

Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo avaliar, inicialmente, como se encontra o local de disposição final dos resíduos sólidos de Porto Seguro – BA quanto as suas características, condições de infraestrutura e operacionais e em relação aos aspectos socioambientais do entorno. Além disso, este trabalho objetivou propor um modelo dinâmico de previsão da geração de RS e aplica-lo no contexto do município de Porto Seguro – BA para prever a geração de resíduos durante um período de 20 anos, compreendido entre 2019 a 2039.

Este trabalho se encontra estruturado em três capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o primeiro artigo contendo os resultados e discussões do estudo de impacto ambiental realizado no atual local de disposição final dos RS de Porto Seguro – BA através das metodologias de Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e da análise espacial para averiguação da disposição do local em relação aos aspectos socioambientais da região utilizando o *software* QGIS.

O segundo e o terceiro capítulo deste trabalho tratam-se de artigos que se complementam e que propõem um método de previsão da geração de resíduos sólidos através de um modelo dinâmico. Os artigos, intitulados de – Parte I: Modelo dinâmico para estimativa da produção de resíduos sólidos e Parte II: produção de Porto Seguro – BA, respectivamente, descrevem no primeiro artigo a metodologia adotada para a construção do modelo dinâmico e, no segundo, os resultados e discussões da aplicação do modelo no município turístico de Porto Seguro – BA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos Especiais - (São Paulo). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: Abrelpe, 2019. 74 p.

ARAÚJO, L. G. S.; LEAL JÚNIOR, C. R. M.; AMORIM, E. L. C.; SILVA, J. A. Gestão de resíduos sólidos urbanos: um diagnóstico dos municípios do sertão alagoano. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 483-516, jan/mar 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação**. ABNT, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 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. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, ago 2010.

CETESB, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos de 2018**. Coordenação e redação Maria Heloisa P. L. Assumpção; equipe técnica Marilda de Souza Soares ... [et al.]; colaborador Fernando Antônio Wolmer − São Paulo: CETESB, 2019.

GARCIA, M. B. dos S. et al. Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. **Revista Semioses**, v. 9, n. 2, p. 77–91, 2015.

GRECO, Giulio; CENCIARELLI, Velia Gabriella; ALLEGRINI, Marco. Tourism's impacts on the costs of municipal solid waste collection: Evidence from Italy. **Journal of cleaner production**, v. 177, p. 62-68, 2018.

IBAM. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República - SEDU, 2008.

MOZHIARASI, V.; RAGHUL, R.; SPEIER, C. J.; BENISH ROSE, P. M.; WEICHGREBE, D.; SRINIVASAN, S. V. Composition analysis of major organic fractions of municipal solid waste generated from Chennai. **Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies**. Springer, Singapore, p. 143-152, 2020.

MERELLES, Leonardo Rodrigues de Oliveira et al. Previsão de geração de resíduos sólidos para o aterro de Aparecida de Goiânia (GO) por séries temporais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v. 24, n. 3, p. 537-546, mai 2019.

SHAMSHIRY, Elmira et al. Integrated models for solid waste management in tourism regions: Langkawi Island, Malaysia. **Journal of environmental and public health**, v. 2011, 2011.

YOSHIDA, M. Social development and the environment – a view from solid waste management. **International Development and the Environment**. Springer, Singapore, 2020. p. 27-43.

Este artigo está formatado segundo as normas da Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente
Disponível no site: revistas.ufpr.br/made/about/submissions#authorGuidelines

ARTIGO 1

QUALIDADE DE ATERRO DE RESÍDUOS NA COSTA DO DESCOBRIMENTO

RESUMO

A disposição final dos resíduos sólidos tornou-se um problema global para a sociedade, ao meio ambiente e a saúde pública, especialmente quando ocorre de modo ambientalmente inadequado. No contexto dos municípios turísticos a questão se torna ainda mais preocupante e desafiadora por conta do incremento na geração dos resíduos advindos do turismo durante os períodos de temporada. Nesse sentido, buscou-se identificar a situação do local de despejo final dos resíduos sólidos do município turístico de Porto Seguro – BA. Para tal, adotou-se neste estudo o método de Índice de Qualidade de Aterros de Resíduos, proposto pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que avalia as características, condições operacionais e da infraestrutura do local possibilitando classificar o aterro como adequado ou inadequado. Concomitantemente, realizou-se uma análise espacial para averiguação da disposição do local em relação aos aspectos socioambientais da região. O atual local de disposição final dos resíduos apresenta condições inadequadas, não atendendo aos requisitos mínimos das normas técnicas para gerenciamento de resíduos quanto aos aspectos socioambientais. Foi identificado ausência de impermeabilização do solo, drenagem do chorume e gases, recobrimento dos resíduos e isolamento físico, comprometendo diretamente o ecossistema local. A análise espacial constatou a presença de núcleos habitacionais no entorno do local, a proximidade de hidrografias, entre elas o Rio Buranhém, que apresentava significativa importância para o território da Costa do Descobrimento. Assim, fica evidenciado a necessidade de estabelecer estratégias e adotar medidas que atendam a demanda local e assegurem a gestão e o manejo adequado dos resíduos.

Palavras-chave: Lixão; Análise Socioambiental; Resíduos Sólidos.

LANDFILL QUALITY IN A DISCOVERY COAST

ABSTRACT

The final disposal of solid waste has become a global problem for society, the environment and public health, especially when it occurs in an environmentally inappropriate manner. In the context of tourist municipalities, the issue becomes even more worrying and challenging due to the increase in the generation of tourism waste during the season. In this sense, we sought to identify the situation of the final dumping site of solid waste in the tourist city of Porto Seguro - BA. To this end, the study adopted the Waste Landfill Quality Index method proposed by the São Paulo State Environmental Company (CETESB), which evaluates the characteristics, operating conditions and infrastructure of the site, allowing the classification of the landfill as appropriate. or inappropriate. At the same time, a spatial analysis was performed to verify the disposition of the place in relation to the social and environmental aspects of the region. The current site of final disposal of waste presents inadequate conditions, not meeting the minimum requirements of technical standards for waste management regarding social and environmental aspects. Absence of soil sealing, drainage of slurry and gases, waste cover and physical isolation were identified, directly affecting the local ecosystem. The spatial analysis found the presence of housing nuclei around the site, the proximity of hydrographs, including the Buranhém River, which was of significant importance to the territory of the Discovery Coast. Thus, the need to establish strategies and adopt measures that meet local demand and ensure proper waste management and management are highlighted.

Keywords: Dumping ground; Socioenvironmental Analysis; Solid waste.

INTRODUÇÃO

A produção e a gestão dos resíduos sólidos são desafiadoras e preocupantes na atualidade. A disposição final dos mesmos é um problema ambiental global e de saúde pública (GARCIA e CANDIANI, 2017). Esse problema surge com o período pós-industrial do capitalismo, por onde a diversificação e aumento dos resíduos corroborou para armazenados incorretos, provocando a contaminação dos solos, água e ar, bem como a proliferação de vetores e doenças na população (LIMA, 2015).

Essa problemática tem atraído a atenção da sociedade e, como resultado, diversas políticas públicas, estratégias e planos vem sendo desenvolvidos para a disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU (EL-SALAM e ABU-ZUID, 2015). No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), foi instituída como a legislação para normatizar os princípios, objetivos e instrumentos, além de orientar quanto à gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e dos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

A PNRS visa diminuir os impactos negativos da disposição inadequada dos resíduos em lixões, determinando a disposição adequada nos municípios até 2014, que foram prorrogadas por sucessivas medidas governamentais. O Projeto de Lei nº 2.289/2015 tem tramitado para determinar prazos distintos aos municípios de acordo com o tamanho da população, apoio técnico e financeiro para implementação dos locais de disposição (BRASIL, 2015; FERREIRA, 2017).

Conforme Assad e Siqueira (2016), os adiamentos sucessivos do encerramento de áreas de lixões e implantação de aterros sanitários demonstram a dificuldade de implementação de políticas públicas ambientais associadas a saúde, de forma que a gestão dos RSU não se mostra, no contexto brasileiro, uma prioridade para redução dos agravos socioambientais na sociedade, mesmo que a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) proíba a sua existência (BRASIL, 1981).

No contexto internacional, os Estados Unidos produziram em 2015 cerca de 262 milhões de toneladas de RSU, sendo que deste total, 52,5% de RSU foram depositados em aterros sanitários e as demais quantidades tiveram destinações como a compostagem, a reciclagem ou a queima destinada a obtenção de energia (USEPA, 2018). Já na em 14 países da União Europeia, Talalaj e Biedka (2016) apontaram que, em 2013, o montante destinado aos aterros sanitários ultrapassou os 50%, sendo que 6 destes países o acumulado de RSU aos aterros foi superior a 75%.

De acordo com o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos no Brasil, foram coletados aproximadamente 60,6 milhões de toneladas de resíduos domiciliares durante o ano de 2017 ou cerca de 166 mil toneladas por dia nos municípios brasileiros (SNIS, 2019). Conforme o diagnóstico, do total de 3.556 municípios 36,9% encaminham os resíduos domiciliares a aterros sanitários, 19,2% destinam ao lixão e 10,8% para os aterros controlados.

A qualidade ambiental está diretamente relacionada com a disposição final dos resíduos, as condições e tempo de operacionalidade, proximidades com corpos d'água, disposição inadequada dos resíduos no solo e distância da fauna e flora dos aterros, exigindo estratégias que assegurem a prevenção do potencial poluidor dessa atividade (TALALAJ e BIEDKA, 2016).

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) tem sido a principal estratégia de monitoramento do descarte de resíduos. Diversos estudos têm adaptado e aplicado metodologias para avaliar os impactos da disposição de resíduos sólidos, pois permite que impactos ambientais sejam previstos, tenham seus custos internalizados, podendo os riscos serem controlados e auxiliado a tomada de decisões (KRČMAR et al., 2017; TURRA et. al, 2017; ARRIETA et al., 2016; KINGSLEY et al., 2016; EL-SALAM e ABU-ZUID, 2015).

As pesquisas no setor de gestão de resíduos concentram-se em indicar áreas aptas para a instalação de aterros sanitários, utilizando geotecnologias e características naturais, sociais e econômicas das cidades, entretanto não avaliam as condições atuais do problema de descarte incorreto dos resíduos (BAIERLE et al., 2016; FELICORI et al., 2016; LOURENÇO et al., 2015). Os estudos realizados por Ferreira (2017), Garcia e Candiani (2017) e pela CETESB (2019) tem proposto metodologias para a realização de avaliações de impacto em lixões e aterros, funcionando como instrumentos indicativos de alterações no ambiente.

Partindo da perspectiva de identificar as condições reais do descarte de resíduos e, baseando-se nas sucessivas modificações de prazos para implantação de aterros sólidos nos municípios brasileiros, requerendo o conhecimento potencial do despejo inadequado dos RSU, o estudo objetivou avaliar a qualidade do Aterro de Resíduos e a disposição final dos resíduos sólidos urbanos na Costa do Descobrimento.

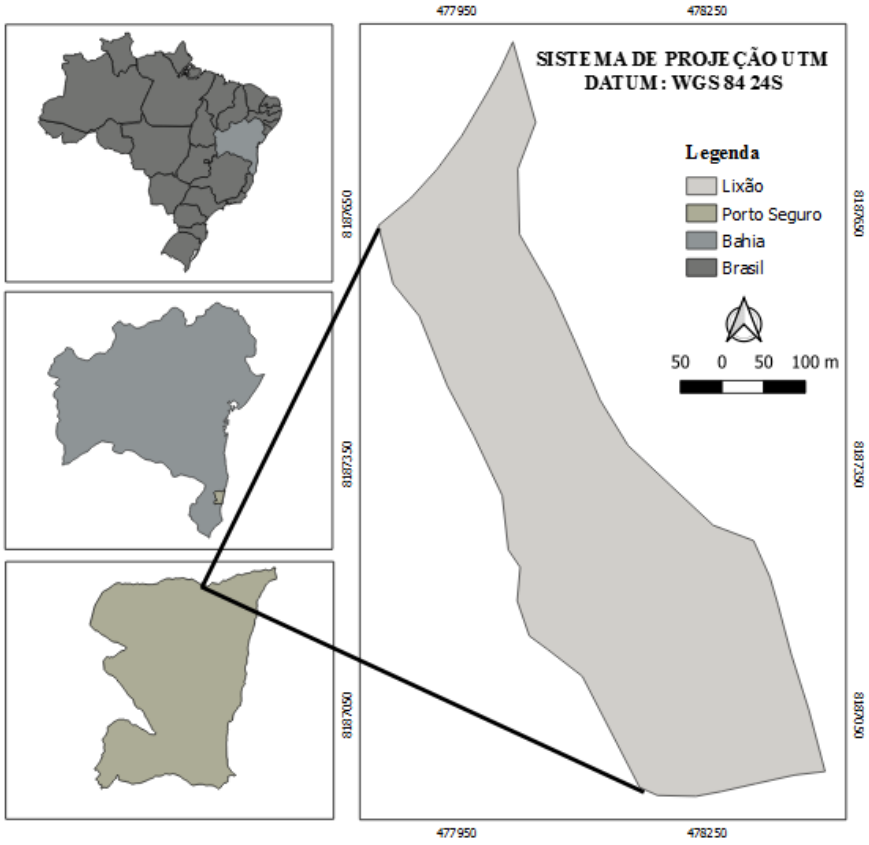
METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na cidade de Porto Seguro, encontra-se localizado no extremo sul do Estado da Bahia, Brasil. O município é o único dos oito municípios do Território do Descobrimento

que possuía aterro sanitário, do qual foi convertido a lixão a céu aberto. Nesse contexto, o estudo pautou-se na avaliação do atual local de disposição final dos resíduos sólidos urbanos de Porto Seguro – BA, situado ao norte do município (Figura 1).

Figura 1: Localização do lixão do município de Porto Seguro – BA.



Fonte: elaborado pelos autores.

Porto Seguro possui uma população estimada em 148.686 habitantes, área territorial de 2.287,085 km² e densidade demográfica estimada em 52,42 hab/km² (IBGE, 2010).

A renda per capita média do município aumentou 123,24% nas últimas décadas e obteve uma taxa média anual de crescimento média de 3,02% entre os anos de 2000 e 2010 e Índice de Desenvolvimento Humano Médio era de 0,676 (ADHB, 2010; IBGE, 2010). Conforme censo demográfico, 66,7% de domicílios possuem esgotamento sanitário adequado e 70,1% de domicílios urbanos estão em vias públicas com arborização (IBGE, 2010).

Apresenta tipologia climática Köppen Af' do tipo tropical chuvoso sem estação seca; média mensal de pluviosidade acima dos 60 mm e anual inferior a 1500 mm, temperatura no mês mais frio acima de 18 ºC e no mês mais quente acima dos 22 ºC. O município se encontra em solos advindos de sedimentos pedogeneizados do grupo geológico Barreiras, predominando nos solos oxídicos, de

característica argilo-arenoso. A geomorfologia apresenta feição tubular, dissecada por vales profundos e área de acumulação de sedimentos fluviais (SEI, 1998; SOUZA et al., 2009).

É caracterizando por ser uma região com alta biodiversidade, dada sua localização no corredor central da Mata Atlântica. A composição da vegetação é dada por campos naturais ("mussununga"), brejos, manguezais, restingas e fragmentos de floresta ombrófila densa dispostos em áreas costeiras e preservados por 29 áreas unidades de conservação que auxiliam na proteção dos recursos socioambientais locais.

MÉTODO

Caracterizado como uma pesquisa qualitativa de campo, com caráter exploratório, utilizou-se a documentação direta, através da observação sistemática (visitas *in loco*) e indireta. Foram realizadas visitas durante os meses de fevereiro e março ao lixão de Porto Seguro com o intuito de executar um levantamento sistemático da disposição final dos resíduos sólidos urbanos locais e registrar os impactos ambientais existentes.

Foi realizada a Identificação da Qualidade de Aterros de Resíduos (IQR) proposta pela CETESB (2019), caracterizada como uma metodologia que considera os impactos ocasionados nos meios físicos, bióticos e antrópicos, avaliando itens referentes a estrutura de apoio, frente de trabalho, bermas e taludes, superfície superior, estrutura de proteção ambiental, características da área e funcionamento do local.

O IQR é um questionário estruturado que consiste na atribuição de pesos aos trinta e três parâmetros ambientais, variando entre 0 e 10. O questionário é dividido em três subtotais, por onde realiza-se o somatório destes e divide-se por 10. O valor encontrado será considerado adequado se estiver entre 7,1 a 10,0 e inadequado caso esteja entre 0,0 e 7,0 (CETESB, 2019).

Uma ANÁLISE espacial foi realizada para verificação da disposição do lixão em relação aos aspectos socioambientais da região. Foram obtidos os vetores da hidrografia e nascente, em escala 1:100.000 do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) e identificado por meio de coordenadas geográficas as edificações que constavam no entorno da área, configurando os núcleos populacionais. As áreas de preservação permanente (APPs) foram realizadas conforme o indicado no Código Florestal Brasileiro, utilizando 30 metros para as faixas de rios e 50 metros para as nascentes (BRASIL, 2012).

Procedeu-se uma análise espacial da distância euclidiana do lixão no raio de 1000 metros do lixão, visando identificar a disposição dos aspectos socioambientais analisados. Todos os procedimentos foram realizados no *software* QGIS v. 2.18 e espacializados em projeção plana UTM, Datum WGS 84 no fuso 24S.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O atual local de disposição final dos resíduos sólidos urbanos em Porto Seguro encontra localizado às margens do km 40 na BR-367. Historicamente, o local foi destinado para funcionar como aterro sanitário nos anos 2000 pela Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia (CONDER), com recursos doados ao município pelo Banco Mundial em comemoração aos 500 anos do Brasil. Apesar da implementação do aterro, o local foi transformado ao longo de vinte anos em um lixão a céu aberto por falta de gerenciamento adequado e possui diversas problemáticas socioambientais.

O aterro foi instalado para atender a uma população estimada de 251.540 habitantes e capacidade de receber 1.037.032 m³ de resíduos. Contudo, Porto Seguro possui o agravante da população flutuante advindo do turismo local, que incrementa significativamente o volume dos resíduos gerados nos períodos de alta temporada. Atualmente, segundo estimativas do fluxo turístico doméstico e internacional realizado pelo Ministério do Turismo e a Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (2015), Porto Seguro recebe anualmente cinco vezes mais que o total de sua população fixa, estimado em mais de 1.250.000 indivíduos que visitam a cidade.

Nos períodos de baixa temporada, a produção diária de resíduos se aproxima de 150 toneladas enquanto na alta temporada esse quantitativo é elevado para 212,5 toneladas ao dia, apresentando uma média diária por habitante de 1,5 kg. O valor diário por habitante em Porto Seguro é maior do que o encontrado no estado da Bahia que é em torno de 1,00 kg/dia e superior também a média nacional que é 1,035 kg/dia (SNIS, 2019; ABRELPE, 2018).

No âmbito local, a gestão e o manejo dos RSU são de responsabilidade da Secretaria de Trânsito e Serviços Públicos que organiza os setores de coleta e as rotas diárias. Por ter sido planejado como um aterro sanitário, foram projetados a fiscalização e controle com balança, terraplanagem, drenagem de percolado, sistema de gaseificação, abastecimento de energia elétrica e iluminação, compostagem e unidade para resíduos dos serviços de saúde, dentre outros (GEOHIDRO, 1998). Mesmo após a sua conversão em lixão, o local ainda dispõe de portaria e balança para as pesagens dos caminhões que chegam ao local, mas não são adotados critérios de controle e segurança para a descarga de resíduos quanto para os catadores.

Os Quadro 1, 2 e 3 apresentam a avaliação do IQR para o lixão de Porto Seguro. No Quadro 1, pode-se observar a qualidade do local e da disposição dos resíduos sólidos por meio da infraestrutura implantada.

Quadro 1: Avaliação da infraestrutura implantada e condições operacionais do lixão de Porto Seguro, Bahia, Brasil.

ITEM	SUBITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
Estrutura de apoio	Portaria, balança e vigilância	Sim/ Suficiente	2	2
		Não/Insuficiente	0	
	Isolamento físico	Sim/ Suficiente	2	0
		Não/Insuficiente	0	
	Isolamento visual	Sim/ Suficiente	2	0
		Não/Insuficiente	0	
	Acesso à frente de cargas	Adequado	3	0
		Inadequado	0	
Frente de trabalho	Dimensões da frente do trabalho	Adequado	5	0
		Inadequado	0	
	Compactação dos resíduos	Adequado	5	0
		Inadequado	0	
	Recobrimento dos resíduos	Adequado	5	0
		Inadequado	0	
Taludes e bermas	Dimensões e inclinações	Adequadas	4	0
		Inadequadas	0	
	Cobertura de terra	Adequada	4	0
		Inadequada	0	
	Proteção vegetal	Adequada	3	0
		Inadequada	0	
	Afloramento de chorume	Não/Raros	4	0
		Sim/Numerosos	0	
Superfície superior	Nivelamento da superfície	Adequada	5	0
		Inadequada	0	
	Homogeneidade da cobertura	Sim	5	0
		Não	0	
Estrutura de proteção ambiental	Impermeabilização do solo	Sim/adequada	10	0
		Não/inadequada	0	
	Prof. Do lençol freático (p) x permeabilidade do solo (k)	P>3m. K< 10-6 cm/s	4	2
		1<= p <= 3m. K < 10-6 cm/s	2	
		Inadequada	0	
	Drenagem de chorume	Sim/Suficiente	4	0
		Não/Insuficiente	0	
	Tratamento de chorume	Sim/Adequado	4	0
		Não/Inadequado	0	
	Drenagem provisória de águas pluviais	Suficiente	3	0
		Insuficiente	0	
	Drenagem definitiva de águas pluviais	Suficiente	4	0
		Insuficiente	0	
	Drenagem de gases	Suficiente	4	0
		Insuficiente	0	
	Monitoramento de águas subterrâneas	Adequado	4	0
		Inadequado	1	
		Insuficiente	0	
	Monitoramento geotécnico	Adequado	4	0
		Inadequado	1	
		Insuficiente	0	
Subtotal 1			**86**	4

Fonte: CETESB (2019).

Dentre os componentes que geram agravos socioambientais, destaca-se que o local se encontra em uma área de preservação permanente, com declividade inadequada, presença de catadores revolvendo os resíduos, inexistência de impermeabilização do solo e tratamento de efluentes líquidos e sem registro de licença válida.

O isolamento físico e visual é quase inexistente no local, permitindo que os resíduos sejam dispersados no entorno do lixão, entrada sem controle e pessoas no local. Conforme orientam as NBR 8.419 (ABNT, 1992) e NBR 13.896 (ABNT, 1997) um aterro deve possuir o isolamento da sua área para impedir a interferência de animais e pessoas no local e o controle de possíveis consequências nas vizinhanças.

A área também sofre com a compactação de modo indireto que contribui para alteração das características naturais do solo e a poluição do ar em razão das partículas em suspensão provocado pelo movimento intenso de veículos. A compactação correta é um importante mecanismo para prolongar o tempo de vida útil dos locais de disposição de resíduos (KINGSLEY et al., 2016).

Os resíduos são depositados no lixão pelos caminhões e direcionado por uma escavadeira para as partes declivosas, formando montanhas de resíduos em vários pontos. Essa ação induz ao acumulo de água, do chorume e a proliferação de vetores de doenças (Figura 2). Sem estrutura para drenagem do chorume, os resíduos se decompõem e percolam sem tratamento, uma vez que as lagoas para tratamento são utilizadas para a descarga de esgoto sanitário de foças no município.

Figura 2: Amontoado de resíduos dispostos em local de declividade no lixão.



Fonte: os autores.

A ausência de nivelamento e impermeabilização do solo são ações graves na disposição final, pois conforme instruem as NBR 8.419 e NBR 13.896, a condição mínima para controlar lixiviados

não-perigosos sejam constituídas de argila compactada com permeabilidade inferior a 10^{-7} cm/s ou geomembranas de polietileno de alta densidade com espessura mínima de 1 mm (ABNT, 1997; 1992; NIS, 2019). Igualmente, a declividade do local deve ser considerada para gerenciar e controlar o escoamento superficial dos contaminantes para áreas mais distantes (IREAJA et al., 2018).

A ausência destas condições corrobora para impactos ambientais que incluem incêndios e explosões, danos à vegetação, presença de odores, contaminação das águas subterrâneas, poluição do ar e o aquecimento global (EL-SALAM e ABU-ZUID, 2015). Para Baysah et al., (2018) um caminho para impedir a contaminação por lixiviados e vazamentos das águas subterrâneas ou superficiais pode se dar com a utilização de materiais de baixa permeabilidade para revestir o fundo e as laterais dos locais. A NBR 8.419 (ABNT, 1992) também instrui que deve ser realizada a investigação geológica e geotécnica do aterro para compreender os riscos de poluição das águas e do estado de estabilidade dos maciços.

No lixão de Porto Seguro, não são realizados monitoramento de águas subterrâneas na área para avaliar os impactos ambientais ocasionados. Para Han et al., (2016) e El-Salam e Abu-Zuid (2015) os locais com ausência de coleta e descarte dos lixiviados são ameaças à qualidade das águas subterrâneas devido aos contaminantes presentes no chorume que ao se misturarem às águas superficiais ou subterrâneas, incorporam cloreto (Cl^-), sódio (Na^+) e amônio (NH_4^+), alteram a dureza total, os sólidos dissolvidos totais (TDS) e inserem metais pesados.

Durante os períodos de chuva, o lixão apresenta bolsões de água pelo terreno e em seu entorno, evidenciando a inexistência da drenagem provisória e definitiva das águas pluviais. Silva (2004) também revela que a situação é agravada no lixão por conta do aterro ter sido implantado na calha do rio Buranhém, ocasionando nos períodos de chuva a contaminação do lençol freático e do próprio rio. Segundo o SNIS (2019), apenas 56,2% dos 3.556 municípios brasileiros adotam estratégias para a drenagem e o manejo das águas pluviais em áreas de tratamento de resíduos, sendo uma problemática não só de Porto Seguro, mas nacional.

Para além do sistema de drenagem das águas pluviais, a implantação de um sistema de drenagem dos gases produzidos se faz necessário, pois a composição destes possui o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4), o que eleva os impactos diariamente na cidade (KRČMAR, et al., 2017).

O Quadro 2 apresenta a avaliação da presença de animais e odores no local, para a determinação da qualidade ambiental do mesmo.

Quadro 2: Parâmetros de avaliação.

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS
	Presença de catadores	Não	2	0

Outras informações		Sim	0	
	Queima de resíduos	Não	2	0
		Sim	0	
	Ocorrência de moscas e odores	Não	2	0
		Sim	0	
	Presença de aves e animais	Não	2	0
		Sim	0	
	Recebimentos de resíduos não autorizados	Não	2	0
		Sim	0	
SUBTOTAL			20	**0**

Fonte: CETESB (2019).

Os catadores são vistos no local revolvendo os resíduos sem equipamentos de proteção individual e com condições insalubres de trabalho para a realização da coleta, expostos a situações de perigo, saúde e bem-estar. Segundo Cruvinel et al., (2019) os catadores possuem alto potencial de desenvolverem morbidades, seja por atropelamento por caminhões, incêndios, explosões e contaminações diversas.

Essa condição se eleva em Porto Seguro, pois os indivíduos que fazem uso do local não possuem instrução para a coleta, bem como se dispõem em grandes montantes de resíduos, que associados aos riscos do ambiente físico, potencializam a ocorrência de acidentes. Resíduos perigosos tecnológicos e hospitalares também são encontrados no local, com disposição inadequada, conforme NBR 10.007 (ABNT, 2004), por apresentar inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Além destas, há uma constante queima de resíduos, fumaça tóxica e a presença de animais. Garcia e Candiani (2017) aponta ser comum a presença de cachorro doméstico (*Canis familiaris*), cavalo (*Equus caballus*), boi (*Bos taurus*) e gato doméstico (*Felis catus*). Em Porto Seguro, além destes as condições climáticas ainda favorecem a presença de escorpiões e cobras nos resíduos depositados, aumentando o risco aos catadores.

Ainda que não sejam regulamentados, os catadores são responsáveis por destinarem a reciclagem de resíduos como o papel, papelão, alumínio e o PET que ficariam depositados sem o manejo correto. Esse papel social de reciclagem indireta favorece a redução dos resíduos na cidade e o direcionamento para novas formas de produção. A cidade ainda não possui usinas e cooperativas de reciclagem formalizadas, o que impede o maior aproveitamento dos resíduos que, em grande parte, são potenciais para a reciclagem pois o consumo turístico se dá diretamente por produtos de fácil consumo e com embalagem plástica.

O Quadro 3 aponta a avaliação das características locais em relação à urbanização, corpos d'água e vida útil.

Quadro 3: Parâmetros de avaliação das características do local.

ITEM	SUB-ITEM	AVALIAÇÃO	PESO	PONTOS

Características da área	Proximidades de núcleos habitacionais	≥500m	2	0
		<500m	0	
	Proximidades de corpos d'água	>=200m	2	0
		<200m	0	
	Vida útil da área	2<x<= 5 anos		-
		> 5 anos	x	
	Restrições legais ao uso do solo	Sim		-
		Não	x	
SUBTOTAL 3			4	**0**

Fonte: CETESB (2019).

Embora esteja situado distante do núcleo urbano, o lixão possui núcleos habitacionais em seu entorno, incentivado pela possibilidade de renda diária com a catação de resíduos. Quanto ao tempo de vida útil do aterro, a NBR 13.896 (ABNT, 1997) instrui que seja superior a 10 anos, entretanto, em Porto Seguro o local de disposição final dos RSU deixou de funcionar como aterro sanitário passando a funcionar como lixão a céu aberto.

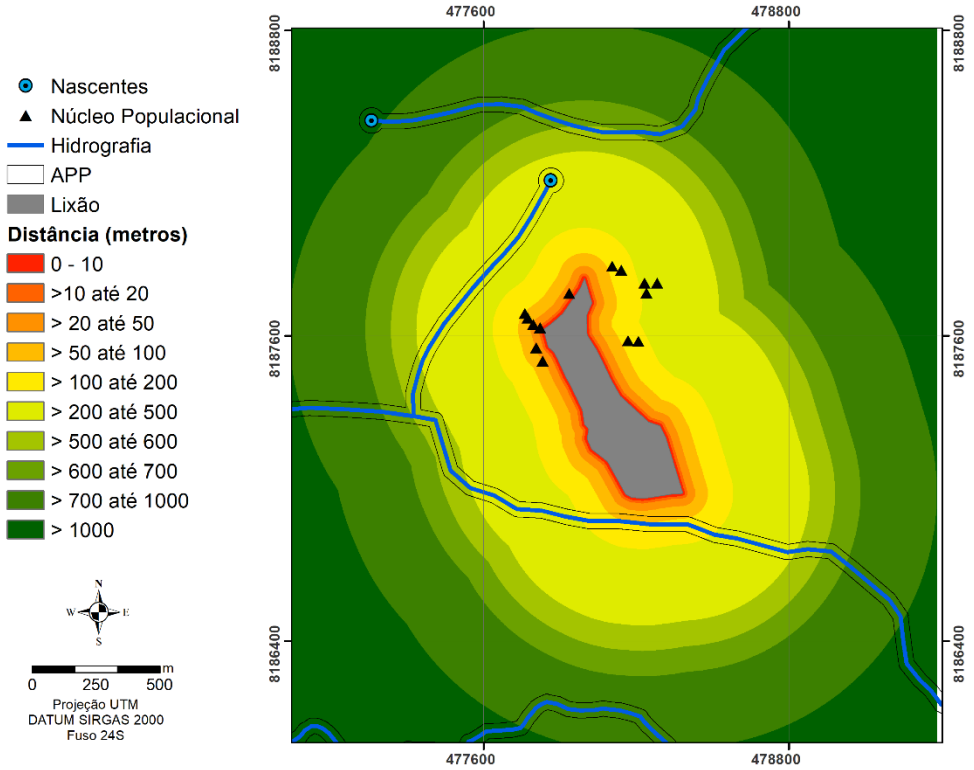
A duração da vida útil de um aterro sanitário está diretamente relacionada a existência de infraestrutura, condições operacionais e gestão adequadas, garantindo que ocorra o seu funcionamento adequado e a diminuição dos impactos causados ao meio ambiente. Ainda que a disposição dos resíduos tenha deixado de ocorrer de modo ambientalmente adequado, como estabelece a PNRS, não há registros de monitoramentos durante todos esses anos.

As condições operacionais, de infraestrutura e as características ambientais que a área se encontra sugerem uma crise local no sistema vigente de disposição final dos resíduos. Isso, porque, além do modo inapropriado que os resíduos são despejados no lixão, tem-se o agravante do incremento significativo atribuído aos turistas que visitam o município e o aumento considerável de resíduos sólidos.

Com base nas avaliações realizadas, a qualidade ambiental do lixão e a disposição dos resíduos sólidos em Porto Seguro obteve um índice de 0,4, este valor classifica a área com um índice inadequado, corroborando para indicar que o modo de disposição final em Porto Seguro carece de readequação conforme orientam as políticas públicas e as NBR 13.896 (ABNT, 1997) e NBR 8.419 (ABNT, 1992).

A avaliação espacial da distribuição dos aspectos socioambientais do entorno do lixão é apresentada na Figura 3.

Figura 3: Distância Euclidiana do lixão de Porto Seguro, Bahia em relação aos aspectos socioambientais do seu entorno.



Fonte: elaborado pelos autores.

Observou-se que desde a presença de habitações quanto as existências de hidrografias podem ser encontradas a pelos menos 1000 metros do lixão, revelando a facilidade da contaminação de corpos hídricos, indivíduos e recursos naturais com os derivados dos resíduos descartados incorretamente. Estudo realizado por Han e colaboradores (2016) apontam que as contaminações das águas subterrâneas em aterros sanitários aparecem sobretudo dentro de 1000 metros do local, sendo que grande parte da contaminação grave ocorre dentro de 200 metros.

A presença de duas nascentes, sendo uma delas com distância de 406 metros, evidencia como os recursos hídricos podem ser contaminados em seu curso inicial enquanto ao sul do lixão é observado corpo d'água distante a 97 metros e que recebe os efluentes da estação de tratamento além de chorume, metais pesados e outros derivados do descarte de resíduos. De acordo com a norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), a distância mínima de 200 metros deveria ser respeitada, aliada a impermeabilização do solo e implantação de sistemas de drenagem para todos os líquidos gerados, evitando assim possíveis contaminações.

Em 836 metros do lixão encontra-se o rio Buranhém, principal rio da região e de importância significativa para o Território do Descobrimento, já que é utilizado para abastecimento de água, pesca artesanal, irrigação e transporte hidroviário. A avaliação da qualidade do rio, prioritariamente nesta região, deve ser encorajada para identificar os padrões de uso e classificação da água, conforme

resolução CONAMA 357/2005. Associado, as APPs devem garantir a preservação dos recursos hídricos apresentando vegetação natural e sua proximidade com o lixão também pode induzir a supressão vegetal, a contaminação de espécies vegetais e do solo. Vale ressaltar que as APPs podem auxiliar no atendimento da redução de erosão, da formação de poeira e transporte de odores, conforme NBR 13.896 (ABNT, 1997).

Os núcleos populacionais no local são os que mais se aproximam do lixão, resultados do povoamento dos catadores que obtém sua renda dos resíduos descartados, por onde os domicílios localizam-se entre 14 m e 268 m de distância. Segundo aponta a NBR 13.896 (ABNT, 1997) as áreas circunvizinhas aos locais de descarte devem apresentar núcleos populacionais distantes em um raio acima 500 m visando evitar problemas de insetos e animais nocivos, poeira, fogo, tráfego, ruído e desvalorização imobiliária.

Contudo, as instalações desses núcleos foram incentivadas pela posterior transformação do aterro em lixão, o que confirma ausência de mecanismos de gerenciamento de resíduos sólidos na cidade mas induz a necessária orientação da população e estratégias para atenção à saúde e bem estar-social. Para Donevska et al. 2012, a proximidade com assentamentos urbanos e rurais pode causar efeitos ambientais negativos.

O SNIS (2019) orienta como estratégias, além da mudança para um aterro sanitário, que ocorra a remediação e fechamento do lixão, bem como, a recuperação da área em uso com condições sanitárias e ambientais apropriadas para instalação de um aterro sanitário no local para que continue a receber resíduos. Ireaja (2018) sugere que seja aplicada a metodologia conhecida como 3R's: Reduzir, Reutilizar e Reciclar os resíduos biodegradáveis para diminuir o montante que chegam até os aterros.

Atrelado a estas estratégias, considera-se pertinente a previsão da estimativa de população flutuante, o monitoramento de curto e longo prazo do aterro que se encontra em uso e do que venha a ser implantado. O monitoramento permite que se conheça o grau de contaminação do aterro, bem como, possibilita acompanhar os níveis das emissões de gases e do percolado que é gerado como subproduto da decomposição dos resíduos, fornecendo subsídios aos gestores para diminuir os impactos causados ao meio ambiente.

Diante dos desafios enfrentados pelo município de Porto Seguro, devem ser considerados diversos aspectos para escolha e implantação de um novo aterro. Segundo Baierle et al., (2016) deve-se levar em conta aspectos como a localização, as características topográficas, os tipos de solo, dados pedológicos e geomorfológicos, informações sobre as águas subterrâneas e superficiais, dentre outras, durante a tomada de decisão. Lourenço et al., (2015) acrescenta que no estudo de implantação de áreas para disposição final deve considerar aspectos técnicos, ambientais e socioeconômicos, que apresenta alterabilidade e correlação no espaço estudado.

No contexto atual, o que se verifica no município é a ausência de perspectivas para a resolução da situação. Essa é, também, uma realidade enfrentada por muitos municípios brasileiros, ainda que tenham sido criadas políticas públicas que incentivem a disposição ambientalmente adequada e criminalizem os lixões. Conforme destacam Assad e Siqueira (2016), o obstáculo que dificulta tal política se tornar mais sólida está ligada a ausência de recursos, de quadros técnicos e gerenciais capacitados, para além da atuação política.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual local de disposição final dos resíduos sólidos urbanos de Porto Seguro apresenta condições inadequadas para tal finalidade e não atende aos requisitos mínimos nas normas técnicas para gerenciamento de resíduos quanto aos aspectos socioambientais. A situação vivenciada pelo município serve de exemplo de que a implantação e gestão de um aterro sanitário deve possuir monitoramento contínuo durante todo o seu período de vida útil e após o seu encerramento, além de considerar fatores predominantes na região, como é o caso da população flutuante turística.

Os estudos das condições operacionais, de infraestrutura e características da área, bem como a análise espacial realizada, indicaram ausência de impermeabilização do solo, drenagem do chorume e gases, recobrimento dos resíduos, isolamento físico e visual trazem consequências diretas ao ecossistema local, itens primordiais ao correto funcionamento do local e redução de impactos. A presença de catadores na condição insalubre potencializa a vulnerabilidade socioambiental provocada pela gestão ineficaz vigente no município e amplia a necessidade de adoção de medidas mitigadoras para o local.

A avaliação de impacto ao possibilitar a análise detalhada do lixão de Porto Seguro também funciona como ferramenta de apoio a decisão para a gestão local. Os resultados obtidos induzem a caminhos lógicos para reverter a problemática atual e apontam a necessidade de se estabelecer estratégias para reverter o quadro da disposição dos resíduos no município, sendo necessário a adoção de medidas como o monitoramento do local, a implantação de um novo aterro sanitário que atenda a demanda local e o engajamento dos gestores públicos para garantir a gestão e o manejo adequado dos resíduos sólidos urbanos gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos Especiais - (São Paulo). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: Abrelpe, 2018. 74 p.

ARRIETA, G.; REQUENA, I.; TORO, J.; ZAMORANO, M. Adaptation of EVIAVE methodology for monitoring and follow-up when evaluating the environmental impact of landfills. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 168 – 179, 2016.

ASSAD, L.; SIQUEIRA, T. Lixões continuam por toda parte. **Revista Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 68, n. 2, p. 08-10, junho 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896: **Fixa condições mínimas exigíveis para projetos, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos não perigosos**. São Paulo: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: **Estabelece critérios de classificação e os códigos para identificação dos resíduos de acordo com as suas características**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, set. 1981.

BRASIL. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, mar. 2005.

BRASIL. 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. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, mai. 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017. Brasília: MCIDADES, 2019.
CETESB, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos de 2018**. Coordenação e redação Maria Heloisa P. L. Assumpção; equipe técnica Marilda de Souza Soares ... [et al.]; colaborador Fernando Antônio Wolmer − São Paulo: CETESB, 2019.

CRUVINEL, V. R. N.; MARQUES, C. P.; CARDOSO, V.; NOVAES, M. R. C. G.; ARAÚJO, W. N.; ÂNGULO-TUESTA, A.; et al. Health conditions and occupational risks in a novel group: waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. **BMC Public Health**, v. 19, n. 581, 2019.

DONEVSKA, K. R.; GORSEVSKI, P. V; JOVANOVSKI, M.; PEŠEVSKI, I. Regional non-hazardous landfill site selection by integrating fuzzy logic, AHP and geographic information systems. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, n. 1, p. 121–131, 2012.

EL-SALAM, M. M. A.; ABU-ZUID, G. I. Impact of landfill leachate on the groundwater quality: a case study in Egypt. **Journal of Advanced Research**, v. 6, p. 579-586, 2015.

EPA. United States environmental protection agency. Landfill manuals, manual for site selection, draft for consultation, Washington. 2006.

FELICORI, T. C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 547-560, set 2016.

FERREIRA, R. G. Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de Condado - PB. **Revista Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 3, p. 142 - 151, 2017.

GARCIA, D. C.; CANDIANI, G. Diagnóstico dos inventários de fauna em estudos de impacto ambiental de aterros. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 45, p. 100-114, set 2017.

GEOHIDRO. **Projeto da disposição final (aterro sanitário) de Porto Seguro – BA**. 1998. Disponível: <http://www.geohidro.com.br/project/projeto-da-disposicao-final-aterro-sanitario-da-cidade-de-porto-seguro/>. Acesso em jan. 2020.

HAN, Z.; MA, H.; SHI, G.; HE, L.; WEI, L.; SHI, Q. A review of groundwater contamination near municipal solid waste landfill sites in China. **Science of the Total Environment**, v. 569, p. 1255 – 1264, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2010. Porto Seguro: IBGE.

IREAJA, N. A.; OKEKE, O. C.; OPARA, A. I. Sanitary landfills: geological and environmental factors that influence their siting, operation and management. **International Institute of Academic Research and Development**, v. 4, n. 5, 2018.

KINGSLEY, E. N.; PASCHAL, I. O.; JUDE, E. O. Assessment of landfill sites for solid waste management in Delta state, Nigeria. **Journal of Environment and Waste Management**, v. 3, n. 1, p. 116 – 122, mai. 2016.

KRČMAR, D.; TENODI, S.; GRBA, N.; KERKEZ, D.; WATSON, M.; RONČEVIC, S.; DALMACIJA, B. Preremedial assessment of the municipal landfill pollution impact on soil and shallow groundwater in Subotica, Serbia. **Science of the Total Environment**, v. 615, p. 1341 – 1354, 2018.

LIMA, G. F. C. Consumo e resíduos sólidos no Brasil: as contribuições da educação ambiental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 37, p. 47-57, 2015.

LOURENÇO, R. W.; CUNHA E SILVA, D. C.; SALES, J. C. A.; MEDEIROS, G. A.; OTERO, R. A. P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Revista Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 122-140, set-dez 2015.

SILVA, I. R. **Praias da Costa do Descobrimento**: uma contribuição para a gestão ambiental. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, 2004.

SOUZA, C. M. P; MOREAU, A. M. S. S.; FONTES, E. O. Zoneamento geoambiental e transformações da paisagem dos municípios Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália – BA. **IX Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP Rio Claro**, 2009.

TALALAJ, I. A.; BIEDKA, P. Use the landfill water pollution index (LWPI) for groundwater quality assessment near the landfills sites. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 24601-24613, 2016.

TURRA, A.; AMARAL, A. C. Z.; CIOTTI, A. M.; ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; MARQUES, A. C.; et al. Avaliação de impacto sob uma abordagem ecossistêmica: ampliação do porto de São Sebastião. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 3, p. 159-178, jul-set 2017.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Advancing Sustainable Materials Management**: 2015 Fact Sheet. Assessing Trends in Material Generation, Recycling, Composting, Combustion with Energy Recovery and Landfilling in the United States. Jul 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-07/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf>. Acesso em: jan. 2020.

Este artigo está formatado segundo as normas da Revista Gaia Scientia
Disponível no site: https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/about/submissions

ARTIGO 2

MODELO DINÂMICO DE PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

RESUMO

Os crescentes desafios quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos (RS) nos municípios e a necessidade da diminuição dos impactos ambientais causados ao meio ambiente vem impulsionando a busca por estratégias que proporcionem soluções de tais problemas. Dentre estas estratégias está a utilização da modelagem dinâmica de sistemas, que possibilita analisar o comportamento de situações como a geração dos RS em um dado período de tempo. Considerando a necessidade de estudos que corroborem para efetividade na gestão dos RS, este estudo propôs um modelo dinâmico para estimar a geração dos RS e o retorno financeiro dos resíduos reciclados. O modelo foi construído no software STELLA e considerou aspectos como a taxa do incremento populacional, geração de RS per capita diária, bem como, os componentes identificados através de caracterização gravimétrica e os valores praticados na venda dos resíduos que são reciclados na região. O modelo associa e estimulam as discussões relacionadas com a modelagem dinâmica dos RS, promovendo o desenvolvimento do pensamento teórico e da interação do que é produzido atualmente e o quanto poderá ser produzido futuramente, o que traz a luz para uma melhor estratégia de gerenciamento a ser empregada.

Palavras-chave: Modelagem de sistemas dinâmicos; Software STELLA; Modelagem do Resíduo Sólido.

MODELO DINÁMICO PARA PRONOSTICAR LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

RESUMEN

Los crecientes desafíos con respecto a la gestión de los residuos sólidos (RS) en los municipios y la necesidad de reducir los impactos ambientales causados al medio ambiente ha estado impulsando la búsqueda de estrategias que brinden soluciones a tales problemas. Entre estas estrategias se encuentra el uso del modelado de sistemas dinámicos, que permite analizar el comportamiento de situaciones como la generación de RS en un período de tiempo determinado. Considerando la necesidad de estudios que corroboren la efectividad en el manejo de RS, este estudio propuso un modelo dinámico para estimar la generación de RS y el retorno financiero de los residuos reciclados. El modelo se construyó en el software STELLA y consideró aspectos como la tasa de aumento de la población, la generación de SR per cápita diariamente, así como los componentes identificados a través de la caracterización gravimétrica y los valores practicados en la venta de residuos que se reciclan en la región. El modelo asocia y estimulan las discusiones relacionadas con el modelado dinámico de RS, promoviendo el desarrollo del pensamiento teórico y la interacción de lo que se produce actualmente y cuánto se puede producir en el futuro, lo que trae la luz a una mejor estrategia de gestión. empleado.

Palabras-clave: Modelado de sistemas dinámicos; *Software* STELLA; Modelado de residuos sólidos.

DYNAMIC MODEL FOR FORECASTING THE SOLID WASTE GENERATION

ABSTRACT

The growing challenges regarding the management of solid waste (SW) in the municipalities and the need to reduce the environmental impacts caused to the environment has been driving the search for strategies that provide solutions to such problems. Among these strategies is the use of dynamic systems modeling, which makes it possible to analyze the behavior of situations such as the generation of SW in a given period of time. Considering the need for studies that corroborate for effectiveness in the management of SR, this study proposed a dynamic model to estimate the generation of SR and the financial return of recycled waste. The model was built in the STELLA software and considered aspects such as the rate of population increase, generation of SR per capita and daily, as well as the components identified through gravimetric characterization and the values practiced in the sale of waste that are recycled in the region. The model associates and stimulates discussions related to the dynamic modeling of SW, promoting the development of theoretical thinking and the interaction of what is currently produced and how much can be produced in the future, which brings the light to a better management strategy to be maid.

Key-words: Dynamic systems modeling; Software STELLA; Solid Waste Modeling.

INTRODUÇÃO

Os índices da produção dos Resíduos Sólidos (RS) vêm se elevando em todo o mundo, especialmente devido ao crescimento da população atrelado ao incremento no consumo dos recursos, transformando as predições do que está por vir verdadeiros desafios (GOEL et al., 2016). Os padrões atuais em que se observam o contínuo aumento nas gerações dos resíduos por conta da renda e dos modos de consumo em vigor, aparecem como desafios ligados à má gestão destes, se mostram tanto como um desafio ambiental quando social e financeiro (SOUZA et al., 2015).

Por conta disto, quantificar o montante dos resíduos torna-se imprescindível para realizar a seleção e mensuração das operações relacionadas a cadeia de gestão destes (PISANI JUNIOR et al., 2018). Prever a produção dos resíduos sólidos representa um papel relevante no gerenciamento dos resíduos (SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016). Para alcançar a efetividade na implantação de tratamentos e das políticas públicas de gestão dos RS é preciso a obtenção de dados confiáveis acerca das taxas, composição e características da produção dos RS (GOEL et al., 2016).

Dados obtidos de modelos de previsão vem sendo utilizados no planejamento de métodos de gerenciamento de resíduos, como para criar estratégias, elaboração de planos de recolhimento dos resíduos, tratamentos e acondicionamento dos resíduos (BEIGL et al., 2008). Dentre os métodos de modelagem estão os modelos de Sistemas Dinâmicos (SD) que consistem em uma abordagem moderna que faz uso de fluxos, *loops* de *feedback*, variáveis cooperantes e estoque para a natureza dinâmica dos sistemas de difícil compreensão em grande escala (GIANNIS et al., 2016).

Os modelos de sistemas dinâmicos foram inseridos por Jay Forrester na década de 50 e consiste em um sistema de modelagem matemática que colaboram para auxiliar a sociedade a compreender as ações de elementos interligados complexos ao decorrer do tempo (Guo et al., 2016). Os SD contribuem para definir e avaliar de modo racional a estrutura, as relações e formas de comportamento dos sistemas e subsistemas de difícil compreensão para buscar, analisar e diagnosticar os seus impactos de modo abrangente e integrado (KOLLIKKATHARA et al., 2010).

As variáveis principais que estabelecem a estrutura dos modelos de SD são os estoques, correspondem às variáveis do modelo que são reunidos no sistema, e os fluxos, referem-se as deliberações ou políticas do sistema (RODRIGUES et al., 2019). De forma geral, os modelos dinâmicos são construídos como sistemas de equações diferenciais de alta ordem, não lineares e podendo ser estocásticos, reproduzindo as regras de escolha dos agentes, dos procedimentos naturais e organizações físicas importantes para o modelo (STERMAN, 2000).

Forrester (2011) afirma que os modelos de SD são instrumentos práticos para os criadores de políticas, de modo que estes possam ser utilizados na resolução de problemas importantes. Segundo o autor, algumas das principais definições pertencentes ao SD como o *feedback* e o comportamento contra intuitivo se encontram inseridos em áreas da administração, da teoria social e do cotidiano. No contexto da gestão dos RS, trabalhos relevantes utilizando modelagem de SD são encontrados na literatura (KARAVERYRIS, et al., 2002; DYSON; CHANG, 2005; GUO et al., 2016; WALTERS et al., 2016).

Autores como Beigl et al., (2008), Kollikkathara et al., (2010), Dissanayake (2016) e Sukholthaman e Sharp (2016) descrevem em seus estudos as vantagens de se utilizar a modelagem de sistemas dinâmicos. De modo geral, tais vantagens estão relacionadas com a possibilidade de analisar as relações entre os diversos fatores socioeconômicos, ambientais e de gestão, além de possibilitar a modelagem em processos da gestão integrada de resíduos no contexto do mundo real.

Dyson e Chang (2005) relatam que para montar um modelo dinâmico de sistema é necessário reconhecer um problema e criar uma hipótese que possa explicar o motivo do problema. As etapas que favorecem o desenvolvimento da modelagem são descritas por Burack (2010) como ocorrendo em cinco: definição do tema; estudo exploratório; sondagem do problema; apresentação das soluções dos problemas e andamento dos assuntos no contexto do tema; e avaliação crítica das soluções propostas.

A escolha desta metodologia foi motivada pela possibilidade de avaliar, em perspectivas futuras, o quantitativo de resíduos produzidos no município de estudo, bem como, estimar o retorno financeiro que os resíduos destinados a reciclagem proporcionarão ao município. Tais informações são de extrema relevância para o gerenciamento adequado dos resíduos e servem de apoio às tomadas de decisões dos gestores dos locais de disposição final dos resíduos sólidos.

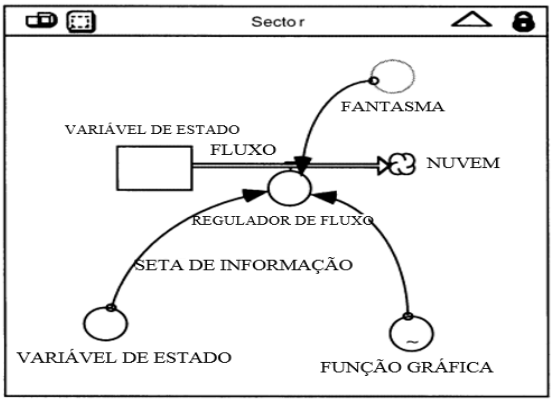
Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo propor um modelo dinâmico para estimar a geração dos resíduos sólidos, bem como, prever o retorno financeiro propiciado pelos resíduos que são reciclados no município. O modelo se propõe a fornecer informações importantes acerca da situação dos RS que servirão de base para o apoio às tomadas de decisões dos gestores dos resíduos em busca de um gerenciamento mais sustentável dessa problemática.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do modelo de previsão da geração dos Resíduos sólidos (RS) e do retorno financeiro da venda dos componentes destinados a reciclagem, foi construído utilizando a modelagem de sistemas dinâmicos no *software* STELLA versão 8.0 (ISEE SYSTEMS, 2019). O STELLA (Laboratório de Aprendizagem Experimental de Pensamento Estrutural com Animação) é um *software* de modelagem dinâmica que possibilita modelar Sistemas Dinâmicos (SD) de difícil resolução, porém tornando fácil a compreensão das interações entre as variáveis e coeficientes do modelo (DISSANAYAKE, 2016).

De acordo com Constanza e Voinov (2001), os recursos primordiais do *software* são estabelecidos em termos de estoques (variáveis de estado), fluxos (dentro e fora das variáveis de estado), variáveis auxiliares (relações algébricas, gráficas ou parâmetros fixos) e fluxos de dados. Os autores acrescentam que o software STELLA possui uma interface gráfica descomplicada (Figura 1) e, por isso, é reconhecido como um dos primeiros sistemas de modelagem dinâmica a atingir amplo reconhecimento e utilização.

Figura 1: Interface gráfica do STELLA, que trabalha com fluxogramas e ajustes equacionais e parâmetros relativos a calibração e desenvolvimento do modelo.

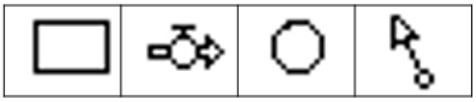


Fonte: Adaptado de Constanza e Voinov (2001).

Dissanayake (2016) define os quatro componentes básicos que compõe os modelos no STELLA como sendo: os estoques, fluxos, conversores e conectores (Figura 2). De acordo com o autor, os estoques operam como reservatórios e armazenam uma população ou uma quantidade. Os

fluxos agem como condutores e carregam de modo efetivo matéria física de um local no modelo para outro. Os conversores agem como parâmetros e proporciona dados para os estoques e fluxos. Enquanto que, os conectores encaminham os dados entre os estoques, fluxos e conversores.

Figura 2: Representação no STELLA dos ícones de estoques, fluxos, conversores e conectores, respectivamente.



As variáveis e os componentes incorporados ao modelo foram selecionados levando em conta os dados que são considerados pertinentes para a gestão efetiva dos resíduos sólidos, especialmente para os casos de gerenciamento dos RS nos municípios brasileiros. Desta forma, o Modelo Dinâmico de Resíduos Sólidos (MDRS) permite ao usuário obter uma boa perspectiva de todo o sistema e ajuda a compreender a importância ambiental e financeira proporcionada pelos resíduos que são encaminhados à reciclagem, especialmente pelos catadores nos locais de disposição final dos RS.

Inicialmente foram estabelecidas as variáveis endógenas (GALARZA et al., 2015), como sendo aquelas que de algum modo podem-se monitorar e mensurar, adquirindo-as grande parte de modo visual, desta forma, oportunizando medir sua incidência, como é o caso da produção dos componentes do RS e dimensão dos resíduos. Além delas, foram definidas as variáveis exógenas, conceituadas pelos mesmos autores como aquelas adquiridas estatisticamente, com variação ao decorrer do tempo, como é o caso da projeção da população.

Validação do Modelo

A validação do modelo matemático é uma fase importante e necessária na modelagem por permitir averiguar a confiabilidade do modelo e dos resultados obtidos. Desta forma, após a transposição e modelagem dos dados para um município analisado, foi realizada a validação dos resultados do modelo proposto. A validação proposta neste estudo foi feita com a dos resultados do Modelo Dinâmico de Resíduos Sólidos-MDRS alcançados neste estudo com o uso e comparação dos resultados do *software* de modelagem "Biogás, geração e uso energético" versão 1.0 elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

Este *software* se diferencia do modelo proposto por possuir a finalidade de prever a produção de gás gerado a partir dos RS (CETESB, 2006). Ele permite calcular a taxa populacional ao decorrer dos anos estudos e o acumulado dos resíduos a ser alcançando no município para este período. O modelo MDRS proposto neste estudo serve como uma ferramenta complementar ao *software* da CETESB, porém, além de considerar a taxa populacional e os resíduos acumulados, fornece dados

quanto a produção diária total dos resíduos, de cada componente identificado, o seu valor de venda e o incremento diário ao decorrer dos anos, além disso, este modelo tem uma maior interação na implementação e mudança das variáveis a ser modificada pelo operador, como tempo a ser implementado, interação de tempo escolhida e eventos endógenos e exógenos, como festas e períodos de menores produções ao longo do ano.

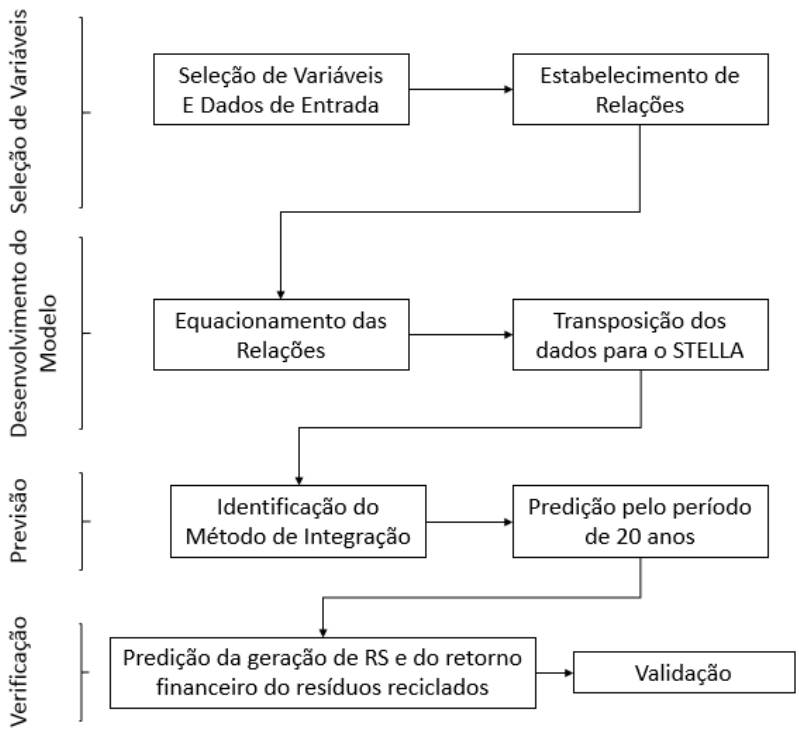
RESULTADOS E DISCUSSÃO

PROPOSTA DE MODELO

O processo de elaboração do Modelo Dinâmico de Resíduos Sólidos-MDRS, ocorreu inicialmente com o planejamento das variáveis, componentes e relações matemáticas que iriam compor a estrutura do modelo, de modo a propor o modelo conceitual, promovendo o desenvolvimento do pensamento teórico e da interação entre variáveis para estabelecer o MDRS. No contexto dos modelos computacionais, o operador não necessariamente trabalha de modo direto com as equações matemáticas, todavia, é necessário definir relações causais entre os componentes estabelecidos como importante para a análise do objeto de interesse (GALARZA et al., 2018).

O estudo foi distinguido como tendo quatro partes principais mais relevantes (INTHARATHIRAT et al., 2015) que contribuíram na elaboração do modelo para prever a produção dos RS e o retorno econômico dos resíduos reciclados, conforme é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma do processo de construção do modelo dinâmico de resíduos sólidos proposto por este estudo.



No contexto deste estudo, o método de integração adotado foi o de Euler. Nele, os valores obtidos para os fluxos ofertam a estimativa para a modificação nos estoques equivalentes ao longo do intervalo de tempo (dt). Isso, porque, "o método de Euler (ou o método da linha tangente) é um procedimento para construir soluções aproximadas a um problema de valor inicial para uma equação diferencial de primeira ordem" (NAGLE, 2012).

O documento técnico do *STELLA* descreve que as etapas de inicialização e interação no modelo ocorrem da seguinte forma:

I) Fase de inicialização

Etapa 1: Elabora-se uma lista com todos os estoques, fluxos e conversores em conformidade com a posição de avaliação que for preciso;

Etapa 2: Realiza-se o cálculo dos valores do início de todos os estoques, fluxos e conversores, de acordo com a posição de análise (Eq. 1 – Eq. 4);

$$Tempo = Origem\ do\ Tempo \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$Estoque_{t=0} = f\ (valores\ iniciais\ dos\ estoques, conversores\ e\ fluxos) \quad \text{(Eq. 2)}$$

$$Conversores = f\ (estoques, conversores\ e\ fluxos) \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$Fluxos = f\ (estoques, conversores\ e\ fluxos) \quad \text{(Eq. 4)}$$

Onde: "*f*" representa, em função desta(s) variável(is).

II) Fase de Interação

Etapa 1: Fazer estimativa da modificação nos estoques no decorrer do intervalo de tempo dt (Eq. 5).

$$\Delta_{estoque} = fluxo\ (dt) \quad \text{(Eq. 5)}$$

Calcular o novo valor para os estoques baseado na estimativa (Eq. 6).

$$Estoque_t = Estoque_{t-dt} - \Delta_{estoque} \quad \text{(Eq. 6)}$$

Etapa 2: Realizar os cálculos dos novos valores de fluxo e conversores conforme as Equações 3 e 4 (de acordo com a posição de avaliação).

Etapa 3: Atualizar o tempo da simulação. Neste caso, interrompe a interação quando Tempo for maior ou igual ao tempo final da simulação.

$$Tempo = Tempo + dt \quad \text{(Eq. 7)}$$

Passos na construção do modelo

Estabelecido um período de análise amostral da modelagem dinâmica, considerando 20 anos que foi arbitrariamente proposto, visto que a NBR 13.896 (ABNT, 1997) orienta que a implantação de aterro sanitária ocorra com planejamento de vida útil mínima de 10 anos, para que o mesmo possa ser viável. A vida útil depende da área de deposição do aterro sanitário disponível e de sua gestão em reaproveitar e reduzir através de reciclagem descrita no Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), assim variando o tempo de vida útil de execução de cada aterro sanitário.

No modelo, a unidade de tempo adotada foi em dias, compreendendo o período desde o t=0 do ano inicial ao t=7.300 do vigésimo ano analisado, representando todos os dias contidos no espaço de tempo a ser estudado. Por conta disso, o intervalo de tempo *dt* entre os cálculos estabelecido foi igual a 1, definindo no modelo que cada interação em ajuste dos cálculos fosse realizada uma vez por dia.

Em busca de conhecer os fatores que influenciam na geração dos resíduos, o comportamento da população analisada, foi implementada uma rotina contendo as taxas de variação de natalidade, migração e de mortalidade para o período. No contexto dos municípios brasileiros, as projeções das taxas de cada município a serem utilizadas como, por exemplo, a população urbana, podem ser retiradas e calculadas a partir de bases de dados como o Censo Demográfico disponível no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

Considerando a variação que ocorre na dinâmica populacional do município, foram estabelecidas relações no modelo, levando em conta as taxas como parâmetros e a população urbana como estoque. Para encontrar o aumento populacional foi considerado o somatório da população urbana com a taxa de natalidade atual (Eq. 8), enquanto que, a diminuição da população urbana foi obtida através do somatório da população urbana com a taxa de mortalidade (Eq. 9).

$$Pop_{Aumento} = Urbana\ Pop + Taxa\ de\ Natalidade \quad \text{(Eq. 8)}$$

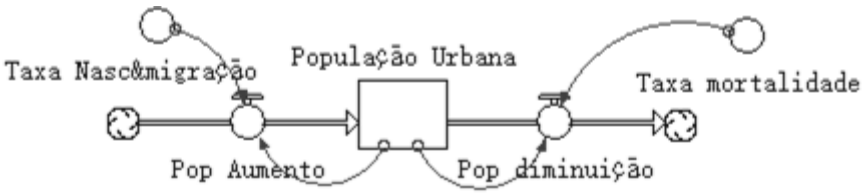
$$Pop_{Diminuição} = Urbana\ Pop + Taxa\ de\ Mortalidade \quad \text{(Eq. 9)}$$

Em posse dos resultados das estimativas do aumento e diminuição da população urbana estudadas é possível obter a população urbana do local ao decorrer do período analisado através da Eq. 10. Encontrar a estimativa da população é de fundamental importância para assegurar maior confiabilidade ao estudo, isso porque, segundo Intharathirat et al., (2015), os quantitativos da população de localidades urbanas influenciam substancialmente de modo positivo na produção dos resíduos sólidos urbanos.

$$Pop_{urbana}(t) = Pop_{urbana}(t - dt) + \left(Pop_{aumento} - Pop_{Diminuição}\right) \times dt \quad \text{(Eq. 10)}$$

No *software*, estas relações dos parâmetros supracitados foram interligadas ao fluxo do aumento e diminuição da população e estes, por sua vez, conectados ao quantitativo da população urbana, permitindo estimar o incremento populacional ao decorrer dos anos como descreve a Figura 4. Este diagrama contendo as equações e relações descritas acima também é apontado por Dissanayake (2016) como sendo o modelo mais simples para representar uma população dinâmica.

Figura 4: Diagrama da relação da dinâmica populacional considerada no modelo.



O passo seguinte na construção do MDRS é a identificação da produção diária de RS no ambiente de estudo. Assim, no modelo construído a população urbana foi interligada a produção diária dos resíduos da população (PD_RSp) através da relação algébrica apresentada na Eq. 11. Para estimar tal parâmetro, é preciso considerar o percentual de coleta atendida no município estudado, isso porque em grande parte dos municípios brasileiros o serviço de coleta não atende a população urbana em sua totalidade.

$$PD_RSp = \frac{PD_RSp \times Pop_{urbana} \times \%coleta\ atendida\ no\ município}{Pop_{urbana} \times \%coleta\ atendida\ no\ município} \quad \text{(Eq. 11)}$$

Adicionalmente, à procura de se conhecer a geração total dos RSU, o parâmetro de produção diária da população foi interligado ao incremento de resíduos sólidos (Eq. 12) e este, ao parâmetro da geração diária de resíduos descrito pela Eq. 13. Os parâmetros avaliados representam importantes dados para o estudo, pois, como foi constatado no trabalho realizado por Dias et al., (2012) a geração dos RSU variam ao decorrer do ano por conta de fatores diversos como as influências climáticas ou quando é pago o 13º salário aos trabalhadores, culminando na inserção de mais dinheiro na economia e no aumento da produção dos RSU.

$$Incremento\ dos\ RS = f(PD_RSp) \quad \text{(Eq. 12)}$$

$$Geração\ de\ RS(t) = Geração\ de\ RS(t - dt) + (Incremento\ do\ RS) \times dt \quad \text{(Eq. 13)}$$

Os componentes identificados através do estudo de caracterização gravimétrica no local de disposição final a ser estudado devem ser alocados como estoque e ligados à geração dos RS no modelo. Para estimar a produção de cada componente identificado, foi estabelecido o cálculo proposto na Eq. 14 que considera os valores identificados em quilogramas multiplicado pelo valor da geração dos RS.

Os componentes residuais utilizados foram fracionados em plástico, PET, papel, papelão, material orgânico, resíduos tecnológicos, trapos, madeira, Tetra Pak, vidros, entulho de construção, material de jardinagem, borracha, resíduos hospitalares, metal, alumínio e outros. O MDRS pode ser

adaptado de acordo com a geração dos resíduos do lugar que está sendo analisando, por isso, é possível que o usuário adicione ou retire componentes caracterizados.

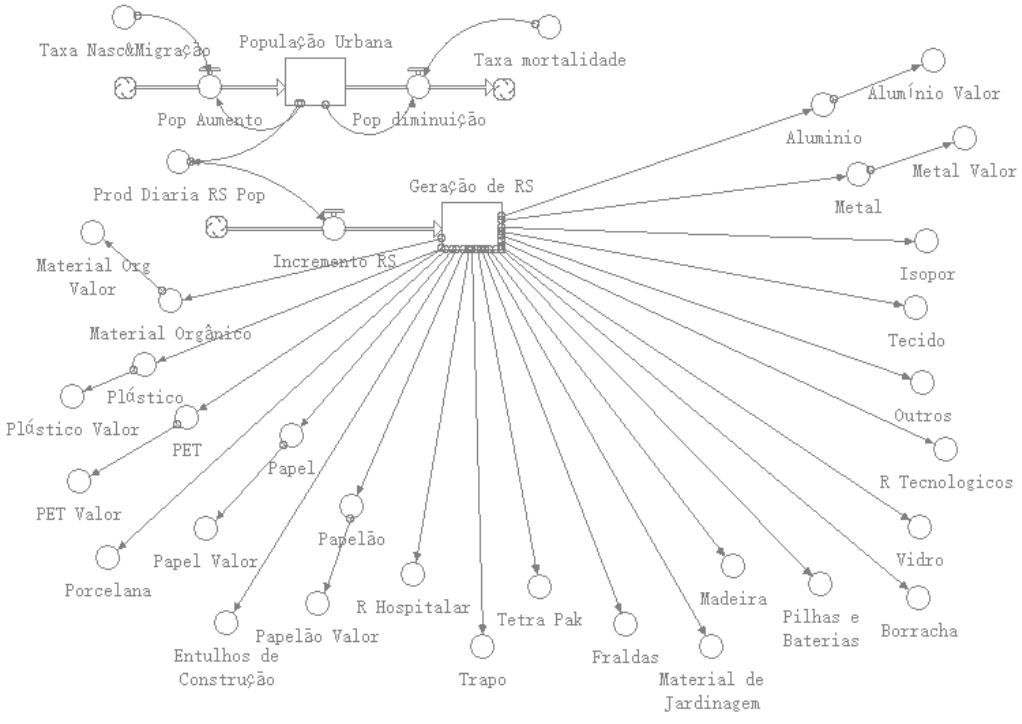
$$Componente = f(Valor\ Identificado \times Geração\ fracionada\ dos\ RS) \qquad \text{(Eq. 14)}$$

Além dos benefícios ambientais, Souza et al., (2015) ressaltam que, a destinação dos resíduos para o reaproveitamento traz vantagens sociais e financeiras, visto que propicia ganhos para a saúde, qualidade de vida da sociedade e a chance de gerar renda através da destinação de serviços na coleta, triagem e o tratamento de resíduos. Dessa forma, considerou-se importante estimar a predição econômica dos resíduos que são reaproveitados. O retorno financeiro dos componentes destinados a reciclagem no ambiente de estudo pode ser estimado em reais através da Eq. 15.

$$Valor\ do\ Componente = f(Componente \times Valor\ de\ Venda) \qquad \text{(Eq. 15)}$$

Com a construção das relações matemáticas que descrevem o MDRS, o modelo de predição dinâmico é apresentado na Figura 5. Quando o modelo é rodado, os resultados no STELLA podem ser acessados através da representação visual e numérica em gráficos e tabelas. Quem utiliza o *software* pode observar diversas simulações com parâmetros variáveis em um mesmo gráfico, permitindo visualizar o impacto das modificações de parâmetros e políticas (DISSANAYAKE, 2015).

Figura 5: Representação esquemática do modelo dinâmico de fluxo e estoque construído e interações entre as variáveis de entrada, resultando no MDRS.



VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação do modelo proposto foi feita utilizando uma análise comparativa dos resultados alcançados no STELLA (ISEE SYSTEMS, 2019) com os resultados obtidos no *software* "Biogás, geração e uso energético" versão 1.0. As variáveis modeladas no *software* construído pela CETESB (2006) e que permite avaliar a confiabilidade dos dados obtidos neste estudo são a estimativa populacional e a geração dos resíduos sólidos. Para a validação do modelo, foram utilizadas as mesmas informações para a previsão em ambos os modelos:

I. Taxa Populacional: assim como no modelo construído no STELLA, é preciso considerar a população no município durante o período de análise. A diferença nesta etapa será apenas a conversão da taxa, que para este trabalho foi considerada como diária, e que será convertida para anual.

II. População atual: foi utilizado a população urbana do município do primeiro ano analisado no estudo.

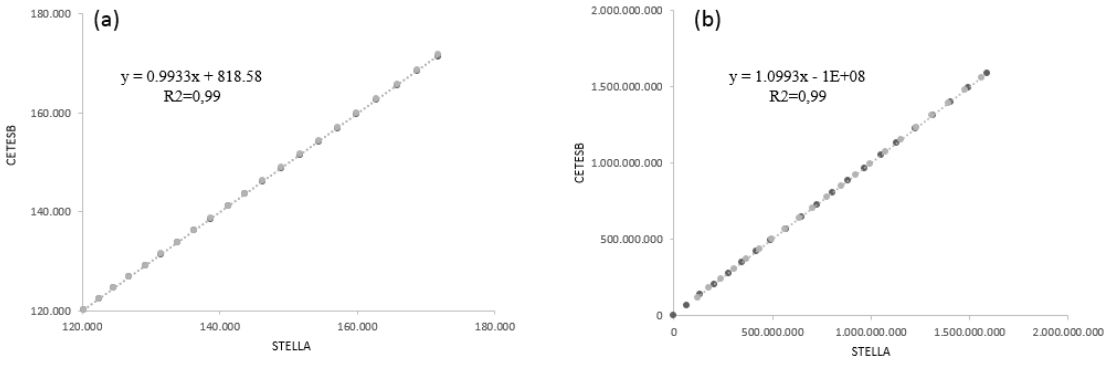
III. Período: considerou-se em ambos os modelos um período de análise de 20 anos.

IV. Taxa da geração de RS: o modelo proposto pela CETESB (2006) considera a taxa como sendo anual. Desta forma, para encontrá-la é preciso multiplicar a taxa da geração diária dos RS por 365, correspondendo a quantidade de dias existentes no ano.

V. Taxa de coleta dos RS: levando-se em conta a existência da necessidade de avaliar a eficiência dos serviços de coleta nos municípios para estimar a geração dos RS, essa taxa será utilizada em ambos os modelos e corresponde ao valor estimado da eficiência da coleta dos RS no município estudado.

Os resultados da validação dos modelos utilizados mostram um nível de correlação (R^2) igual a 0,99 entre os valores da população e entre os valores para o acumulado dos RS no município, conforme descreve a figura 6 a) e b), que apresenta também as equações dos gráficos. Desta forma, constata-se que o modelo proposto neste estudo possui resultados confiáveis e que podem ser utilizados como ferramenta de apoio no gerenciamento dos RS em diferentes localidades.

Figura 6: Resultados da validação da (a) população e dos (b) resíduos acumulados.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista dos resultados apresentados, o MDRS construído, demonstrou ser uma ferramenta que pode fornecer uma simulação útil e eficaz para o gerenciamento dos RS nos municípios. As projeções a serem obtidas através do modelo proposto poderão servir de apoio às tomadas de decisões dos gestores dos locais de disposição final, propiciando uma base de informações confiáveis que pode ser utilizado no planejamento de implantação e manutenção de aterros sanitários. Além disso, o MDRS pode ser adaptado para ser utilizado como um protótipo para estudos de outras problemáticas envolvendo RS.

Frente aos desafios enfrentados pelos municípios quanto a gestão dos RS gerados, especialmente de países em desenvolvimento, o modelo dinâmico construído se configura como uma alternativa possível e fácil de ser aplicado em municípios que desejam obter dados dos resíduos gerados e o retorno econômico que terão com a venda dos resíduos recicláveis uma vez que este modelo conceitual pode também ser adaptado um número maior de informações, variáveis e características que cada município precise para sua avaliação. Isto torna o MDRS, uma ferramenta de maior autonomia na implementação e com escolhas particulares propostas por cada usuário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.896: **Fixa condições mínimas exigíveis para projetos, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos não perigosos**. São Paulo: ABNT, 1997.

BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: a review. **Waste Management**, v. 28, p. 200-214, 2008.

BURACK, D. Modelagem matemática sob um olhar de Educação Matemática e suas implicações para a construção do conhecimento matemático em sala de aula. **Revista de modelagem matemática**, v. 1, n. 1, p. 10-27, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Biogás***:* geração e uso energético - versão 1.0/Cetesb. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em: <Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/biogas/softwares/ >. Acesso em: 26 jan. 2020.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNEO, M. Modelo para estimative da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012.

DISSANAYAKE, S. T. M. Using STELLA simulation models to teach natural resource economics. **The Journal of Economic Education**, v. 47, p. 40-48, 2016.

DYSON, B.; CHANG, N. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. **Waste Management**, v. 25, p. 669-679, 2005.

FANG, J. LAU, C. K. M.; LU, Z.; WU, W. Estimating Peak uranium production in China – Based on a Stella model. **Energy Policy**, v. 120, p. 250-258, 2018.

FORRESTER, J.W. Research: pioneers and innovators. *In*: ASSAD A.A. & GASS S.I. (eds.). **Profiles in Operations Research**. New York: Springer. p. 363-386, 2011.

GALARZA, L. H. W.; GÓMEZ, S. T. R.; GARCEZ, E. O.; CORREA, É. C.; PORRAS, Á. C.; FORERO, I. H. Modelo dinâmico de sistemas para o gerenciamento de resíduos da construção civil na cidade de Porto Alegre: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 463-474, jul/set 2015.

GIANNIS, A.; CHEN, M.; YIN, K.; TONG, H.; VEKSHA, A. Application of system dynamics modeling for evaluation of different recycling scenarios in Singapore. **J Master Cycles Waste Manag**, v. 19, p. 1177-1185, 2017.

GUO, H.; HOBBS, B. F.; LASATER, M. E.; PARKER, C. L.; WINCH, P. J. System dynamics-based evaluation of interventions to promote appropriate waste disposal behaviors in low-income urban areas: a Baltimore case study. **Waste Management**, v. 56, p. 547-560, 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de 2010. Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9673&t=sobre>. Acesso em 09 abr. 2020.

INTHARATHIRAT, R.; SALAM, P. A.; KUMAR, S.; UNTONG, A. Forecasting of municipal solid waste quantity in a devoloping country using multivariate grey models. **Waste Management**, v. 39, p. 3 – 14, 2015.

STELLA ONLINE. Isee systems, [2019?]. Página inicial. Disponível em: < https://www.iseesystems.com/store/products/stella-online.aspx>. Acesso em 16 abr. 2020.

KARAVEZYRIS, V.; TIMPE, K.; MARZI, R. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. **Mathematics and Computers in Simulation**, v. 60, p. 149-158, 2002.

KOLLIKKATHARA, N.; FENG, H.; YU, D. A System dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generatiom, landfill capacity and related cost management issues. **Waste Management**, v. 30, p. 2194-2203, 2010.

NAGLE, R. K.; SAFF, E. B.; SNIDER, A. D. **Equações Diferenciais**. São Paulo, 8ª edição, Pearson Education do Brasil, 2012.

PISANI JUNIOR, R.; CASTRO, M. C. A. A.; COSTA, A. Á. Desenvolvimento de correlação para estimativa da taxa de geração per capita de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo: influências da população, renda per capita e consumo de energia elétrica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 415-424, 2018.

RODRIGUES, G. O.; PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. O.; TREVISAN, M.; BARCELOS, D. V. Um modelo computacional para análise da produção de biodiesel, a partir do óleo de cozinha, e uso na coleta de resíduos sólidos urbanos. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 15, n. 1, p.189-209, 2019.

SOUZA, O. T.; CHAVES, I. R.; ALVIM, A. M. Reciclagem e gestão de resíduos sólidos como possibilidades para a geração de benefícios sociais, econômicos e ambientais. **Revista Grifos**, v. 24, n 38/39, p. 51-70, 2015.

STERMAN, J. D. **Business dynamics: system thinking and modeling for a complex word**. Working Paper Series, ESD Internal Symposium, Massachusetts Institute of Technology, 2002.

SUKHOLTHAMAN, P.; SHARP, A. A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: a casa of Bangkok, Thailand. **Waste Management**, v. 52, p. 50-61, 2016.

VÉLEZ, S. L. P.; MORA, N. E. System dynamics model for the municipal solid waste management system in the metropolitan area of Medellín, Colombia. **Int. J. Environment and Waste Management**, v. 18, n. 2, 2016.

Este artigo está formatado segundo as normas da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental
Disponível no site: http://abes-dn.org.br/wp-content/uploads/2018/10/Regulamento-ESA-Scholar-One-2018.pdf

ARTIGO 3

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DE MODELO DINÂMICO PARA PORTO SEGURO, BA

RESUMO

Grande parte dos municípios brasileiros depositam seus resíduos inadequadamente, necessitando de estratégias que contribuam para uma gestão efetiva dos Resíduos Sólidos Urbanos - RSU. Nesse sentido, este trabalho objetivou realizar a caracterização gravimétrica dos RSU produzidos em Porto Seguro – BA, prever a produção dos resíduos no município em 20 anos e estimar o retorno financeiro dos resíduos destinados a reciclagem durante o período analisado. Para caracterização dos resíduos dispostos no lixão, adotou como método o quarteamento, estabelecida pela NBR 10.007. Na gravimetria dos resíduos, relacionou-se a fração total de cada categoria caracterizada em relação à massa total das amostras coletadas em cada setor. Utilizou-se o modelo dinâmico de resíduos sólidos – MRDS para estimar a produção dos RSU de Porto Seguro para um período de 20 anos. O estudo avaliou dois cenários: baixa e alta temporada, sendo os resultados da produção diária dos resíduos no município estimada em 150 ton/dia e alcançando 212.5 ton/dia para os respectivos cenários. A caracterização indicou a presença de componentes com potencial de reciclagem oriundos do turismo e elevada produção de resíduos orgânicos proveniente dos bairros. A modelagem estimou um total de 1.467.657.296,23 kg de resíduos, alcançando um retorno financeiro de material reciclável em R$ 318.992.272,28 para os preços atuais. Conclui-se assim que o modelo pode ser amplamente utilizado com a finalidade de se obter a geração dos resíduos sólidos, o retorno financeiro proveniente dos resíduos reciclados e podendo servir também como método de apoio para enfrentar os desafios na gestão dos RSU nos municípios brasileiros.

Palavras-chave: modelagem dinâmica dos resíduos sólidos; estimativa da produção de RS; gestão dos RSU.

ESTIMATED PRODUCTION OF SOLID WASTE THROUGH A DYNAMIC MODEL FOR PORTO SEGURO, BA

ABSTRACT

Most Brazilian municipalities do not dispose of their waste inappropriately, requiring strategies that contribute to an effective management of Urban Solid Waste - MSW. In this sense, this work aimed to perform the gravimetric characterization of MSW produced in Porto Seguro - BA, to forecast the production of waste in the municipality in 20 years and to estimate the financial return of waste destined for recycling during the analyzed period. To characterize the waste disposed in the dump, it adopted the method of quarantine, established by NBR 10.007. In the gravimetry of the residues, the total fraction of each characterized category was related in relation to the total mass of the samples collected in each sector. The dynamic solid waste model - MRDS was used to estimate the production of MSW in Porto Seguro for a period of 20 years. The study evaluated two scenarios: low and high season, with the results of daily waste production in the municipality estimated at 150 ton/day and reaching 212.5 ton/day for the respective scenarios. The characterization indicated the presence of components with potential for recycling from tourism and high production of organic waste from the neighborhoods. The modeling estimated a total of 1,467,657,296.23 kg of waste, achieving a financial return of recyclable material at R$ 318.992.272,28 for current prices. It is concluded that the model

can be widely used in order to obtain the generation of solid waste, the financial return from recycled waste and can also serve as a support method to face the challenges in the management of MSW in Brazilian municipalities.

Key-words: dynamic modeling of solid waste; estimate of RS production; management of MSW.

INTRODUÇÃO

Mudanças no estilo de vida, a urbanização e o desenvolvimento econômico colaboraram para o aumento da quantidade e complexidade dos resíduos sólidos urbanos – RSU, acarretando sérios problemas sanitários, em especial nos países em desenvolvimento (DIAS et al., 2012; NAVABI-PELESARAEI et al., 2017), uma vez que o Brasil possui Lei, mas não foi implementada em todos os municípios (BRASIL, 2010; ABRELPE, 2019). Quando as localidades urbanas passam por qualquer tipo de crescimento, seja demográfico ou econômico, por exemplo, são esperados que sejam enfrentados os desafios que surgem com o aumento do fluxo de recursos, tornando a gestão dos resíduos ainda mais importante (CONKE, 2018).

Entretanto, essa não é uma realidade que ocorre em grande parte dos municípios brasileiros onde, de acordo com dados da ABRELPE (2019), o montante de resíduos coletados no país, em 2017, foi de 71,6 milhões de toneladas sendo que deste total 40,9% ainda são depositados em locais inadequados. Estes valores evidenciam a existência de falhas na gestão dos resíduos nos municípios e o descumprimento do que preconiza o Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), quanto a necessidade da disposição dos resíduos sólidos (RS) ocorrerem de modo ambientalmente adequado.

As dificuldades enfrentadas pelos gestores nos municípios brasileiros levaram a aprovação do Projeto de Lei nº 2.289/2015 que definiu um novo prazo para o encerramento dos lixões para 2021, visto que, conforme aponta Santos (2019) os municípios enfrentaram dificultados para cumprir a meta estabelecida na PNRS de encerramento dos lixões no país para o ano de 2014. Diversos motivos comportamentais corroboram para disposição inadequada dos resíduos, abrangendo as normas sociais, os incentivos financeiros, ambientais e a infraestrutura física (GUO et al., 2016).

Conforme se elevam os interesses em criar respostas sustentáveis para problemas ambientais e econômicos, a carência por metodologias para compreender e prever as respostas das decisões políticas tornam-se mais urgentes (CONSTANZA, 2001). No caso dos resíduos, modelos de previsão da produção fundamentam-se, especialmente, nos sistemas de apoio às tomadas de decisões como a avaliação de custo-benefício, avaliação de escolha multicritério e estudo do ciclo de vida (KOLEKAR et al., 2016).

Metodologias para prever a geração de RS podem ser adotadas por possibilitar, conforme destacam Merelles et al., (2019), servir de base para adequar a infraestrutura, promover o desenvolvimento sustentável, otimizar os recursos que são usados para tratar os resíduos e nas tomadas de decisão. Os modelos de previsão e os seus dados podem ser utilizados para o planejamento de sistemas de gestão dos resíduos, abrangendo o desenvolvimento de métodos de gerenciamento, o planejamento de serviços de coleta e infraestrutura e a busca de áreas para instalação (BEIGL et al., 2008), tempo e vida útil do empreendimento.

Trabalhos relevantes utilizando modelagem de sistemas dinâmicos para estimar a geração de resíduos sólidos (DYSON e CHANG, 2005; ERKUT et al., 2008; ARAÚJO, et al. 2012; DIAS et al., 2012; EISELT e MARIANOV, 2015; GUO et al., 2016; MERELLES et al., 2019; ZANCHI et al., 2020) podem propor uma melhor gestão futura dos resultados esperados e um planejamento ambiental mais ordenado. No caso de municípios turísticos, a avaliação de estratégias e do impacto ambiental, são particularmente interessantes devido ao turismo se constituir como uma forma adicional na geração dos resíduos e a atratividade do destino poder ser afetada por sua gestão (ARBÚLU et al., 2015).

Os resíduos são considerados uma das preocupações mais graves e imediatas vivenciadas pelos municípios urbanos em grande parte das economias em desenvolvimento e modificação no mundo (SUKHOLTHAMAN e SHARP, 2016). Nessa perspectiva, a relevância deste trabalho se justifica pela necessidade da adoção de estratégias metodológicas que contribuam para a gestão mais efetiva dos RS no município, levando em consideração a produção diária, a classificação dos componentes gerados, a população urbana e a eficiências das rotas de coleta, bem como a gestão e dimensionamento da área de deposição.

Tendo em vista os aspectos observados, este trabalho é o segundo de dois trabalhos relacionados que buscam prever a geração dos Resíduos Sólidos (RS) utilizando um modelo dinâmico (ZANCHI et al., 2020). No contexto deste estudo, os objetivos são a realização da caracterização gravimétrica dos RS produzidos em Porto Seguro – BA, a estimativa da produção dos resíduos no município por 20 anos, compreendendo o período de 2019 a 2039 e também estimar o retorno financeiro que os resíduos destinados a reciclagem proporcionarão durante o período analisado.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O município litorâneo de Porto Seguro situado no sul da Bahia integra o território de identidade da Costa do Descobrimento. A população é estimada em 148.686 habitantes, com área da

unidade territorial de 2.285,764 km², estando localizado sob as coordenadas geográficas 16º27’4” S e 39º3’53” O (IBGE, 2019). O município tem grande parte da sua renda advinda do turismo, tendo sua renda *per capita* média elevada em 123,24% aumentada nas últimas duas décadas e um nível de desigualdade de renda de 0,56, valor indicando que a distribuição da renda é parcialmente desigual no local (BRASIL, 2019).

No território encontram-se uma rica biodiversidade e belezas naturais, sendo o clima na região úmido e subúmido com temperaturas variando de 18 a 30ºC, chuvas distribuídas durante todo o ano e índices pluviométricos que chegam a alcançar 1.500 mm (BAHIA, 2016). A geologia da área se encontra inserida na Formação Barreiras, com características predominantes de feições aplainadas, conservada em partes, submetidas a retoques e remanejamentos progressivos resultantes de dissecação fluvial de diferentes níveis (AMORIM, 2016).

Em 2010, o Índice de Desenvolvimento Humano do município foi de 0,676, situando-o na faixa de Desenvolvimento Humano Médio, sendo as dimensões que mais contribuem para elevar esse valor a longevidade, a renda e a educação, respectivamente (BRASIL, 2019). Na região, grande parte da população vive na área urbana, tendo o Produto Interno Bruto – PIB distribuído em 51,3% do setor de serviços, 22,44% da administração pública, 17,62% do setor industrial e 8,81% corresponde a agropecuária (BAHIA, 2016).

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos no município ocorre em um lixão/vazadouro a céu aberto (Figura 1), o local apresenta condições operacionais e de infraestrutura inadequadas e vem ocasionando ao longo dos anos diversos impactos negativos ao meio ambiente (CARVALHO et al., 2020). Conforme aponta a pesquisa nacional de saneamento realizada pelo IBGE (2019), a prefeitura é a única executora dos serviços de manejo dos resíduos sólidos, sendo que neste local também são depositados diretamente ao solo resíduos dos serviços de saúde sépticos, além de ser possível encontrar a presença de catadores.

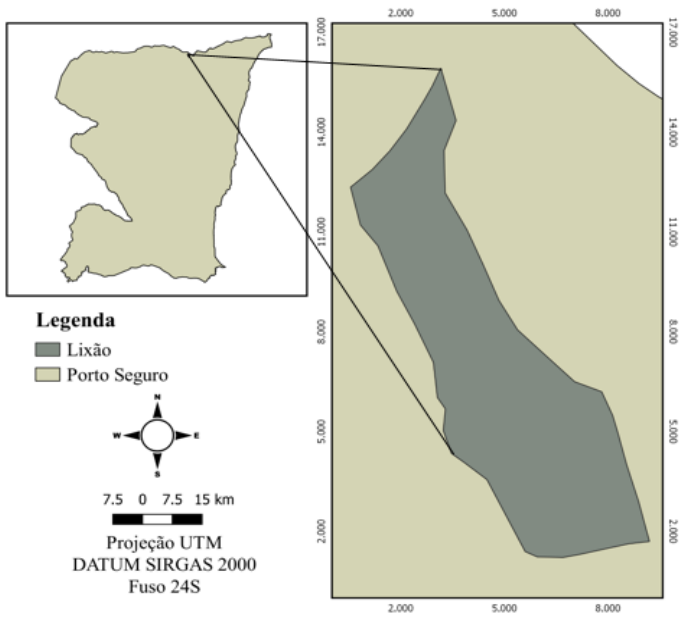


Figura 1: Localização espacial do lixão de Porto Seguro - BA.
Fonte: elaborado pelos autores.

COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA

Para se conhecer qual a real composição dos RSU produzidos em Porto Seguro, foi realizado durante os meses de fevereiro e março de 2019 a caracterização gravimétrica dos resíduos do município. Após realizar um levantamento junto à Secretaria de Trânsito e Serviços públicos das rotas setoriais existentes em Porto Seguro, foram selecionadas três rotas setoriais, escolhidas por serem consideradas como representativas da geração dos resíduos do município, sendo elas, o centro de Porto Seguro, bairros do Arraial D'ajuda e os hotéis da orla norte, sendo as duas primeiras rotas da coleta pública e a última da coleta privada.

A metodologia adotada foi a de quarteamento (Figura 2), estabelecida pela NBR 10.007 (ABNT, 2004), trata-se de um método em que os resíduos são primeiramente depositados do caminhão em uma área preparada, os sacos e sacolas são rompidos e realiza-se uma homogeneização da amostra. Em seguida, ocorre a etapa de divisão em quatro partes equivalentes, sendo posteriormente, retiradas duas partes opostas uma da outra para criar uma nova amostra e descarta-se as partes que não foram utilizadas. A nova amostra passa por um novo processo de homogeneização e as etapas de quarteamento é refeito até a obtenção do volume de amostra pretendido.

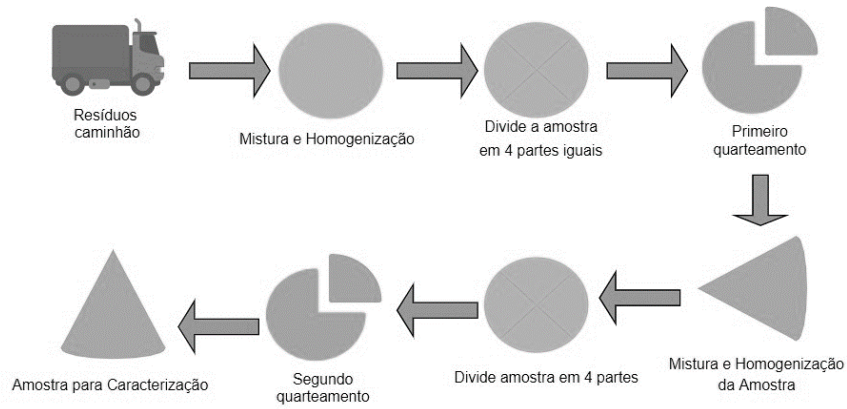


Figura 2: Representação esquemática da metodologia de quarteamento dos resíduos sólidos. Fonte: elaborado pelos autores.

Foram identificados e separados manualmente os seguintes componentes: alumínio, absorventes/fraldas, isopor, madeira, material orgânico, metais, papel, papelão, plástico, PET, porcelana, tecido, Tetra Pak, resíduos tecnológicos e vidro. Os caminhões coletores dos setores selecionados foram pesados vazios na balança disponível na cancela de entrada da área de deposição, antes de serem carregados, e após a coleta dos resíduos sólidos urbanos, por diferença de peso, obtêm-se o peso dos resíduos coletados. Para definição da composição gravimétrica dos resíduos, relacionou-se a fração total de cada categoria após a separação em relação à massa total das amostras coletadas em cada setor, de acordo com a relação da Equação 1:

$$\text{Categoria (\%)} = \frac{\text{massa da fração da categoria (kg)}}{\text{massa total da amostra coletada (kg)}} * 100 \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Atrelado ao levantamento, foi realizado junto aos catadores uma pesquisa sobre quais são resíduos que são vendidos por eles no lixão e o preço venda que repassam aos compradores (Tabela 1). Nem todos os componentes identificados neste estudo são reciclados, desta forma, foram considerados no modelo de previsão apenas aqueles que são triados e vendidos aos atravessadores pelos catadores no local.

Tabela 1: Componentes identificados no lixão de Porto Seguro destinados a reciclagem e o seu preço de venda.

Componente	Preço de Venda (Reais/Kg)
Alumínio	3,30
Ferro	0,15
Papel	0,15
Papelão	0,15
PET	0,70
Plástico	0,70

Fonte: elaborado pelos autores.

MODELO DINÂMICO

A modelagem dinâmica de sistemas é utilizada para retratar e simular dinamicamente situações complexas através da identificação estrutural de feedback, além de, possibilitar retardar etapas que direcionam o comportamento do sistema (WALTERS et al., 2016). Para que se consiga criar um modelo dinâmico é preciso reconhecer a problemática a ser estudada e formular a hipótese que descreva a causa do problema, geralmente, após este levantamento, os dados são passados para algum *software* para realizar a simulação.

Neste estudo, para prever a geração dos resíduos sólidos urbanos de Porto Seguro foi utilizado o Modelo Dinâmico de Resíduos Sólidos – MDRS (figura 3) proposto por Zanchi et al., (2020). Utilizou-se o *software* STELLA (versão 8.0 – Isee Systems), neste caso para a modelagem dinâmica da produção dos RSU de Porto Seguro foi utilizado um intervalo de tempo de 20 anos. O período considerado é compreendido desde o t=0 de 2019 a t=7.300 em 2039, representando todos os dias contidos no espaço de tempo estudado, uma vez que a modelagem foi estimada diariamente.

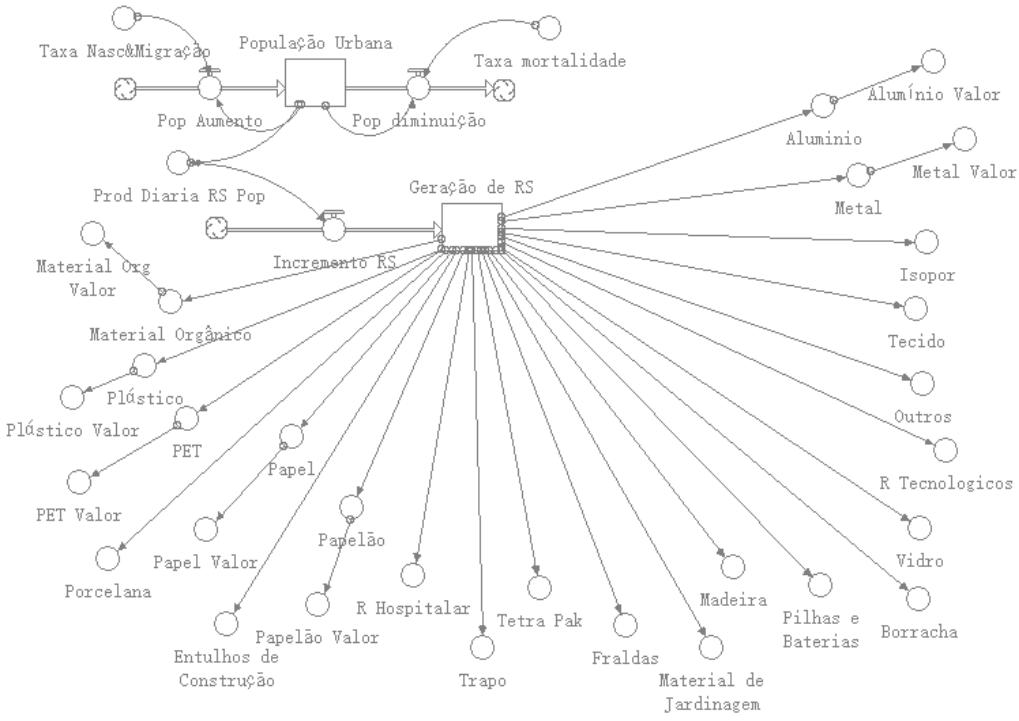


Figura 3: Modelo Dinâmico de Resíduos Sólidos.
Fonte: Zanchi et al., (2020).

As projeções das taxas do município e da população urbana utilizadas no modelo foram retiradas do Censo Demográfico (IBGE, 2019), do Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (2019) e SNIS (2019), sendo a taxa de natalidade e migração considerada de 6.79, a taxa de

mortalidade de 1.92 e a população urbana residente de 120.423 habitantes. Os tipos de resíduos considerados, a produção diária *per capita* e total, bem como, os componentes que são destinados para venda e os seus respectivos valores foram obtidos através da caracterização e de levantamento junto Secretaria de Trânsito e Serviços Públicos do município.

Quanto a taxa de abrangência da rota de coleta dos resíduos no município para estimar a geração dos RS, de acordo com dados do Plano Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002), o valor se encontra na faixa de 0,9 a 1,0. Por conta disso, convencionou-se utilizar no estudo o valor de 0,9 para a taxa de Porto Seguro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização gravimétrica tanto para as três rotas, como para a média realizada neste estudo, são apresentados na Tabela 2. Cujos valores considerados são referentes ao total coletado pela prefeitura e pelos carros particulares que depositaram no lixão durante o período estudado.

Observaram-se diferentes proporções e tipos dos componentes identificados nos setores analisados, contudo, em todos os casos a presença dos resíduos orgânicos foram predominantes. Em geral, os países menos desenvolvidos possuem mais resíduos orgânicos em sua composição, enquanto que os mais desenvolvidos contêm mais papel e embalagens (EISELT e MARIANOV, 2015; SUKHOLTHAMAN e SHARP, 2016).

Tabela 2: Composição gravimétrica dos RSU de Porto Seguro – BA.

Tipo	Hotéis da Orla Norte		Bairros de Arraial D'ajuda		Centro		Média	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%
Papelão	344,19	10,27	700,66	9,61	1268,88	12,88	771,2	10,92
PET	383,68	11,45	487,73	6,69	780,37	7,92	550,5	8,6
Alumínio	37,29	1,11	44,05	0,60	54,66	0,55	45,3	0,7
Plástico	487,82	14,56	1065,00	14,61	1679,85	17,05	1077,5	15,4
Papel	586,66	17,51	115,87	1,59	346,24	3,52	349,5	7,5
Fralda	148,63	4,44	294,80	4,04	337,32	3,42	260,2	3,9
Porcelana	166,29	4,96	0	0,00	0	0,00	55,4	1,6
Vidro	103,46	3,09	365,51	5,01	325,67	3,31	264,9	3,8
Tecido	16,22	0,48	224,26	3,08	125,14	1,27	121,9	1,6
Tetra Pak	15,46	0,46	49,09	0,67	69,04	0,70	44,5	0,6
Isopor	6,89	0,21	21,76	0,30	75,52	0,77	34,7	0,4
Ferro	0	0,00	38,80	0,53	51,78	0,53	30,2	0,3
Madeira	0	0,00	413,33	5,67	0	0,00	137,8	1,9
Resíduos Tecnológicos	0	0,00	0	0,00	128,02	1,30	42,7	0,4

Material Orgânico	1.053,35	31,44	3.469,07	47,59	4.607,45	46,78	3043,3	41,9
TOTAL	**3.350**	**100**	**7.290**	**100**	**9.850**	**100**	**6829,9**	**100**

Fonte: elaborado pelos autores.

Por se tratar de um município turístico, foi identificado uma significativa parcela de componentes com potencial para serem reciclados, em especial nos hotéis da orla norte e no centro (Figura 4). Ainda que exista uma elevada geração destes componentes, Porto Seguro não dispõe de um local para triagem dos resíduos ou mesmo a segregação na fonte a serem destinados para a reciclagem, como propõe no PNRS (BRASIL, 2010), o que viria a contribuir para minimizar os resíduos que são depositados no lixão, além de gerar renda para os catadores que retiram do local a sua fonte de faturamento.

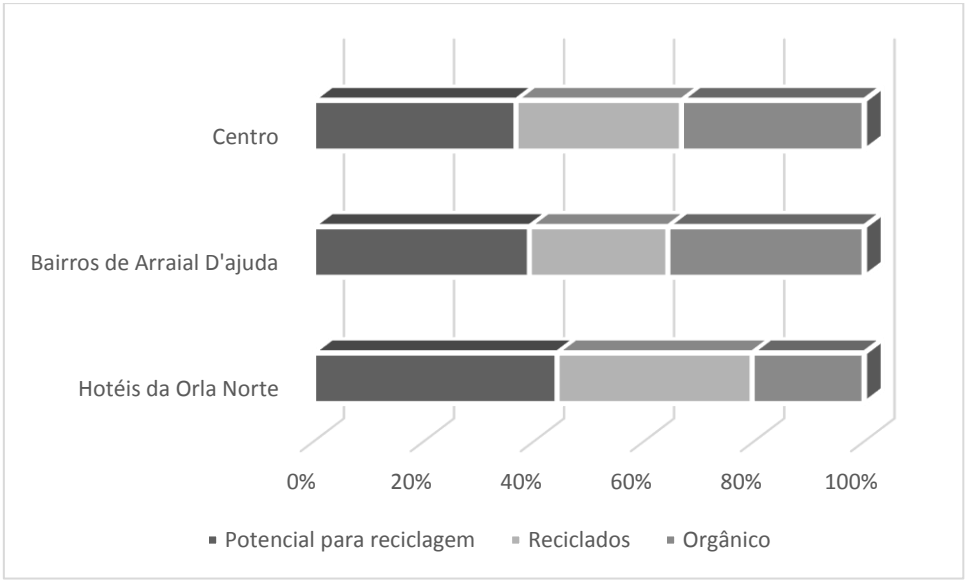


Figura 4: Característica dos resíduos sólidos identificados nos setores analisados.
Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme levantamento realizado junto aos catadores no local, estima-se que a atividade diária de coleta dos resíduos no lixão é feita por 50 catadores irregulares. Os catadores que atuam no local conseguem destinar para reciclagem uma parcela significativa dos resíduos que chegam ao local. Entretanto, ao avaliar que cada catador consegue encaminhar para reciclagem em média 0,75 toneladas de resíduos e a produção diária dos RS gira em torno de 180 toneladas, apenas 26,9% dos resíduos são efetivamente destinados a venda diariamente para ser reciclado.

Os 73% dos RS depositados no local e que não são reciclados correspondem a cerca de 142,5 toneladas diárias que poderiam ser encaminhadas para o tratamento apropriado caso houvessem melhores condições de trabalho e a segregação na fonte, agregando valor ao processo da gestão dos resíduos (CONKE, 2018; ABRELPE, 2019; BRASIL, 2010). Tal fato pode ser verificado ao observar

os dados apresentados na Figura 3, onde constata-se que uma parcela dos resíduos com potencial para serem reciclados acabam não sendo triados e destinados para serem reaproveitados.

Isso se deve a diversos fatores relacionas a gestão como, por exemplo, a falta de uma estrutura adequada para que se consiga implementar efetivamente a reciclagem no local ou reaproveitamento do material orgânico que chega ao local em significativa quantidade. Arbulú et al., (2015) destacam que, os países que se encontram em estágios iniciais de crescimento econômico apresentam menor conscientização dos problemas ambientais e não possuem tantas tecnologias favoráveis ao meio ambiente quanto as existentes nos países mais ricos.

Conforme apontam os resultados, o turismo exerce influência nas características dos resíduos que são produzidos em Porto Seguro. Diaz-Farina et al., (2020) ressaltam que a coleta, transporte e tratamento dos resíduos advindos do turismo são, em geral, feitos em instalações e redes de resíduos residenciais, sendo, desta forma, ocultos estatisticamente nos indicadores dos resíduos residenciais. Isto acaba interferindo nas ações e planejamentos a serem adotados pela gestão dos resíduos sólidos nos municípios turísticos, além de colaborar para superestimar ou subestimar os reais quantitativos dos resíduos gerados pela população residente.

De acordo com o levantamento realizado a produção per capita dos resíduos no município durante a baixa temporada é de 1.2 kg/hab/dia e a produção diária é estimada em 150 ton/dia. No período de alta temporada esse valor é elevado para 1.7 kg/hab/dia e a produção diária aumentada em média para 212.5 toneladas. Para previsão da geração de RSU, foi tirada a média da produção de resíduos durante a baixa e a alta temporada e considerou-se como produção diária o total de 181.250 toneladas.

Quando estimados pelo modelo MDRS proposto por Zanchi et al., (2020), o quantitativo dos RSU produzidos do primeiro ano até o final dos 20 anos, são apresentados na Tabela 3. Conforme apontam os resultados, a produção total dos resíduos no primeiro ano para o município foi estimada em 61.745,52 toneladas e, ao final do período analisado, o total a ser obtido é de 1.403.103,76 toneladas, tendo um incremento levemente exponencial devido a taxa de crescimento populacional também aumentar exponencialmente nesta região previsto para o município durante o período analisado (IBGE, 2019).

Tabela 3: Projeção total da produção para o primeiro e o vigésimo ano e lucro total com a venda dos RSU que são comercializados em Porto Seguro – BA.

Componente	Total 1º Ano (kgs)	Total (kgs)	Total (R$)
Papel	4.684.828,51	111.186.158,81	16.677.923,82
Papelão	6.692.612,16	158.837.369,72	23.825.605,46
PET	5.354.089,73	127.069.895,78	714.768,16
Ferro	200.778,36	4.765.121,09	38.120.968,73

Plástico	10.038.918,24	238.256.054,58	166.779.238,21
Fraldas	2.007.783,65	47.651.210,92	-
Vidro	2.007.783,65	47.651.210,92	-
Tecido	669.261,22	15.883.736,97	-
Tetra Pak	401.556,73	9.530.242,18	-
Material Orgânico	27.397,92	651.233.215,86	-
Porcelana	669.261,22	15.883.736,97	-
Madeira	669.261,22	15.883.736,97	-
Alumínio	468.482,85	11.118.615,88	36.691.432,41
Resíduos Tecnológicos	267.704,49	6.353.494,79	-
Isopor	267.704,49	6.353.494,79	-
Entulhos de Construção*	-	-	-
Resíduos Hospitalares*	-	-	-
Pilhas e Baterias*	-	-	-
Material de Jardinagem*	-	-	-
Borracha*	-	-	-
Outro*	-	-	-
∑	**34.427.424,44**	**1.467.657.296,23**	**318.992.272,28**

Fonte: elaborado pelos autores.
Obs: * Itens que não foram identificados na caracterização gravimétrica realizada em Porto Seguro – BA.

Quando os valores de venda destes itens são modelados, os resultados apontam que o retorno financeiro do material vendido para a reciclagem durante o período analisado será de aproximadamente R$ 318.992.272,28. Considerando que nem todos os resíduos que chegam ao local são destinados a reciclagem por conta, principalmente, da disposição inadequada e a existência de outros componentes que poderiam ser destinados a venda para reciclagem que ainda não são comercializados, este valor encontrado poderia ser ainda maior.

Ainda que os programas de reciclagem que alcançaram sucesso dependam da separação na fonte, Conke (2018) destaca que o sucesso da reciclagem depende também da triagem, coleta, tratamento, disposição final e da gestão adequada. Com empenho dos gestores públicos, os recursos financeiros obtidos por meio das vendas dos materiais poderiam, além de serem distribuídos como fonte de renda dos catadores, subsidiar a readequação operacional e de infraestrutura do lixão oferecendo melhores condições de trabalho e a redução dos impactos causados ao ambiente.

Segundo a ABERTRE/FGV (2009) os custos totais de um aterro sanitário de médio porte, com capacidade para receber até 800 toneladas/dia, desde a etapa de pré-implantação ao pós-encerramento, é de R$ 236.535.037. Essa estimativa é feita para um horizonte de tempo de 42 anos de vida útil, compreendendo também o encerramento do aterro. Considerando a produção inicial média anual dos RS no município como sendo de 180 toneladas/dia, estima-se que os valores necessários para implantação e manutenção do aterro possam ser custeados pela venda dos componentes recicláveis que chegam ao local.

Tais recursos também poderiam ser destinados para o reaproveitamento dos resíduos orgânico acumulado no local que, conforme apontam os resultados obtidos, será superior a 651.000 toneladas ao final do período de 20 anos. Entre as estratégias a serem adotadas para o reaproveitamento estão a compostagem e o aproveitamento do resíduo para fins energéticos, entretanto, muito além da adoção de medidas reparadoras, é preciso que sejam repensadas a cadeia de produção destes resíduos.

Na Figura 5 é possível acompanhar como ocorrerá o incremento exponencial na geração, em toneladas, dos resíduos orgânicos e do total de RS de Porto Seguro – BA ao decorrer dos anos analisados. Aproximadamente 45% de todo resíduo gerado no município anualmente é composto por material orgânico, o valor da quantidade obtida se encontra 6,4% abaixo do valor médio de produção do material orgânico nos municípios brasileiros que, de acordo com o CEMPRE (2018), é de 51,4%.

Por meio da caracterização realizada foi possível perceber que a porcentagem de material orgânico identificada foi maior na área domiciliar. Kolekar et al., (2016) destacam que a porcentagem de resíduos orgânicos diminui de acordo com o status socioeconômico do local estudado. Mir et al., (2016) afirmam que uma porcentagem elevada de material orgânico possibilita a bioconversão em diversos produtos com valor agregado, podendo até ser vendido o metano gerado pela compensação de redução do mesmo e uso dele para energia, bem como adubo orgânico para agricultura (CRUZ et al., 2019).

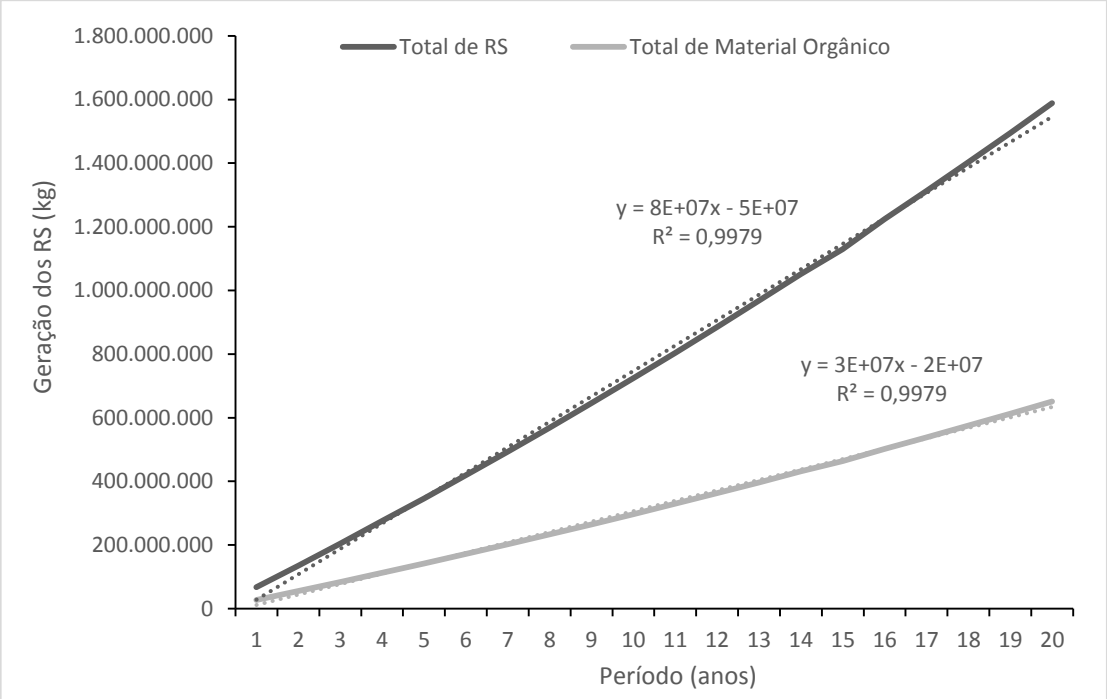


Figura 5: Comparação do quantitativo total de resíduos e de material orgânico gerado durante o período de 20 anos.
Fonte: elaborado pelos autores.

Até o presente momento, todo o resíduo orgânico depositado no lixão municipal se decompõe sem receber qualquer tipo de tratamento. Ferh (2016) expõe que pesquisas acerca de compostagem relatam que 100 quilogramas de resíduos alimentícios se decompõem gerando 20 quilogramas de composto orgânico com 30% de umidade. O seu tratamento é interessante economicamente, visto que, de acordo com o CEMPRE (2010), o resíduo coletado e processado produz uma receita de R$ 0,15 por quilograma vendido.

Prevê-se que o retorno financeiro para Porto Seguro, caso o resíduo orgânico seja decomposto em composto orgânico, será de R$ 29.305.494,71. Além de proporcionar a diminuição da quantidade de resíduos acondicionados que contribuem para impactar negativamente o meio ambiente, o retorno financeiro do reaproveitamento dos resíduos orgânicos pode ser destinado para contribuir na readequação e manutenção do local de despejo dos RS no município.

Foram realizadas regressões e estabelecidas as funções com melhores aderências, notamos que a dispersão dos dados amostrados, cujo coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,99 tanto para o total de resíduos quanto para o total de material orgânico poderão de forma mais simplificada, sem o uso de um modelo Dinâmico, possa ser usado para Porto Seguro como um resultado prático da modelagem dinâmica. Então, a partir da figura apresentado na Figura 4 depreende-se, em termos generalizados, as equações que representam a geração de matéria orgânica no município e a geração dos resíduos sólidos em Porto Seguro, respectivamente. Sendo que, Y descreve a produção anual de material orgânico e do total de resíduos gerados, respectivamente, enquanto x representa a produção diária per capita (kg/hab.dia).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando-se em consideração o estudo gravimétrico realizado, conclui-se que, o quantitativo de material orgânico foi predominante orgânico para todos os setores analisados, sendo menor nos hotéis da orla norte que apresentaram maior predominância de material com potencial para reciclagem. Como este estudo mostrou, há geração expressiva de resíduos com potencial para o reaproveitamento e que poderiam ter um retorno muito promissor, caso as orientações da PNRS quanto a reciclagem fosse implementada.

Os valores obtidos com a venda dos resíduos podem ser destinados a implantação e manutenção de um novo aterro sanitário, bem como, servir de renda para os catadores que trabalham no local e que poderão ter condições mais adequadas de trabalho. Tendo em vista essa possibilidade, a colaboração do presente trabalho é disponibilizar insumos que contribuam nas medidas estratégicas a serem adotadas na gestão integrada dos resíduos, tornando as propostas e ações mais adequadas à realidade do município.

Com base nos resultados obtidos pelo modelo dinâmico, conseguimos propor um modelo simples da produção de resíduos em relação ao tempo para Porto Seguro. Porém o modelo pode ser amplamente utilizado com a finalidade de se obter a geração dos resíduos sólidos para diferentes localidades e o retorno financeiro proveniente dos resíduos que são destinados a reciclagem, podendo servir como método de apoio para enfrentar os desafios na gestão dos RS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos; FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Estudo sobre os aspectos econômicos e financeiros da implantação e operação de aterros sanitários**. Rio de Janeiro: FGV, 2009.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos Especiais - (São Paulo). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: Abrelpe, p. 74, 2019.

AMORIM, R. R. A representação de mapas de paisagens na escala regional: o exemplo da região costa do descobrimento (Bahia). **Revista da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia**, v. 12, n. 17, p. 257-292, 2016.

ARBULÚ, I.; LOZANO, J.; REY-MAQUIEIRA, J. Tourism and solid waste generation in Europe: A panel data assessment of the environmental Kuznets Curve. **Waste Management**, v. 46, p. 628-636.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007: **Fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BAHIA – Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Estudo de Potencialidades Econômicas Costa do Descobrimento.

BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: a review. **Waste Management**, v. 28, p. 200-214, 2008.

BRASIL, ATLAS. "**Atlas do desenvolvimento humano no Brasil 2013**." Acesso em 22 jan. 2020.

CEMPRE. Fichas técnicas. **Composto Urbano**. 2010 Disponível em: http://cempre.org.br/artigopublicacao/ficha-tecnica/id/10/composto-urbano. Acesso em 22 jan. 2020.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (2006) **Biogás***:* geração e uso energético - versão 1.0/Cetesb. São Paulo: CETESB. Disponível em: <Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/biogas/softwares/ >. Acesso em: 26 jan. 2020.

CONKE, L. S. Barriers to waste recycling development: evidence from Brazil. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 134, p. 129-135, 2018.

COSTANZA, R.; VOINOV, A. Modelling ecological and economic systems with STELLA: Part III. **Ecological Modelling**, p. 1 – 7, 2001.

CRUZ, R. F.; GERUDE NETO, O. J. A.; FREITAS, S. J. N.; RODRIGUES, J. B.; SILVA, D. L. L. A aplicabilidade do chorume oriundo do processo de compostagem biofertilizante orgânico para agricultura sustentável. **Revista Nature and Conservation**, v. 12, n. 3, 2019.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; BARROS, R. T. V.; LIBÂNEO, M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012.

DYSON, B.; CHANG, N. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. **Waste Management**, v. 25, p. 669-679, 2005.

EISELT, H. A.; MARIANOV, V. Location modeling for municipal solid waste facilities. **Computers & Operations Research**, v. 62, p. 305 – 315, 2015.

ERKUT, E.; KARAGIANNIDIS, A.; PERKOULIDIS, G.; TJANDRA, S. S. A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. **European Journal of Operational Research**, n. 187, p. 1402-1421, 2008.

FANG. J.; LAU, C. K. M.; LU, Z.; WU, Q. Estimating Peak uranium production in China – Based on a Stella model. **Revista Energy Policy**, v. 120, p. 250-258, 2018.

FEHR, Manfred. A reciclagem de resíduos biodegradáveis municipais é viável. **Cienc. Cult.**, São Paulo , v. 68, n. 4, p. 44-45, Dec. 2016.

GUO, H.; HOBBS, B. F.; LASATER, M. E.; PARKER, C. L.; WINCH, P. J. System dynamics-based evaluation of interventions to promote appropriate waste disposal behaviors in low-income urban áreas:a Baltimore case study. **Waste Management**, v. 56, p. 547-560, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: 2000. Departamento de População e Indicadores Sociais, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Departamento de População e Indicadores Sociais, 2008.

KOLEKAR, K. A.; HAZRA, T.; CHAKRABARTY, S. N. Preview on prediction of municipal solid waste generation models. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 238 – 244, 2016.

MEIRELLES, L. R. O.; SILVA, C. O.; LUZ, M. P.; MENEZES, J. E.; DIAS, V. S. Previsão de geração de resíduos sólidos para o aterro de Aparecida de Goiânia (GO) por séries temporais. **Revista de Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 24, n. 3, 2019.

MIR, M. A.; GHAZVINEI, P. T.; SULAIMAN, N. M. N.; BASRI, N. E. A.; SAHERI, S.; MAHMOOD, N. Z.; JAHAN, A.; BEGUM, R. A.; AGHAMOHAMMADI, N. Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop na optimized municipal solid waste management model. **Journal of Environmental Management**, v. 166, p. 109-115, 2016.

NABAVI-PELESARAEI, A.; BAYAT, R.; HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H.; AFRASYABI, H.; CHAU, KWOK-WING. Modeling of energy consumption and environmental life cycle

assesment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management – A case study in Tehran Metropolis of Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 148, p. 427 – 440, 2017.

SANTOS, G. M. A. Economia circular como política governamental de gestão de resíduos sólidos: implicações de sua implementação no Brasil. **Revista Episteme Transversalis**, v.10, n. 1, p. 343-357, 2019.

SANTOS, J. G.; CÂNDIDO, G. A. Geração e manejo dos resíduos sólidos resultantes das atividades turísticas de Porto De Galinhas – PE. **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo**, v. 9, n. 1, p. 40-58, 2015.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica**: Resíduos Sólidos. 2018.

SUKHOLTHAMAN, P.; SHARP, A. A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: a case of Bangkok, Thailand. **Waste Management**, v. 52, p. 50-61, 2016.

TREADWELL, J. L.; CLARK, O. G.; BENETT, E. M. Dynamic simulation of phosphorus flows through Montreal's food and waste systems. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 131, p. 122-133, 2018.

ZANCHI, F. B.; CARVALHO, A. L. S.; CAGY, L.; CRUZ, R. S. Parte I: modelo dinâmico de previsão da geração de resíduos sólidos. 2020.

WALTERS, J. P.; ARCHER, D. W.; SASSENRATH, G. F.; HENDRICKSON, J. R.; HANSON, J. D.; HALLORAN, J. M.; VADAS, P.; ALARCON, V. J. Exploring agricultural production systems and their fundamental componentes with system dynamics modelling. **Ecological Modelling**, v. 333, p. 51 -65, 2016.

CONCLUSÃO GERAL

Tendo em vista os aspectos apresentados ao decorrer dos capítulos neste estudo, conclui-se, através da aplicação do método de IQR, que o local de disposição final dos resíduos sólidos de Porto Seguro – BA se encontra em condições inadequadas para o uso. O despejo dos resíduos a céu aberto sem o tratamento apropriado está provocando consequências negativas ao meio ambiente, como a contaminação da água, do solo e do ar. A análise espacial realizada permitiu constatar a proximidade do local a corpos d'água e a presença de núcleos habitacionais representando riscos para a qualidade de vida da sociedade local.

Além disso, o estudo gravimétrico possibilitou conhecer o perfil de cada setor analisado quanto as características dos resíduos produzidos. Os resíduos provenientes da população de Porto Seguro – BA, são predominantemente orgânicos podendo serem destinados para geração de energia e/ou para produção de adubo através do processo de compostagem. A medida que, os resíduos produzidos pelo turismo apresentam potencial para serem encaminhados para a reciclagem, colaborando para diminuir os resíduos que são destinados ao lixão.

Quanto ao modelo de previsão da geração dos RS proposto neste trabalho, pôde-se constatar, através de sua aplicação no município e validação, se tratar de uma ferramenta de útil aplicação. Os resultados apontaram um valor expressivo no quantitativo de resíduos a serem produzidos pela população do município e o retorno financeiro que estes possibilitarão caso sejam destinados ao reaproveitamento e/ou reciclagem. O modelo proposto pode ser aplicado a diferentes realidades e serve como um instrumento de apoio para tomada de decisões com o intuito de se obter gestão mais eficiente dos RS.

O Território da Costa do Descobrimento, no qual o município de Porto Seguro se encontra situado, representa uma importante região para o meio ambiente, história e cultura do país. Apesar do seu significado, ainda há muito o que melhorar, visto que, o território recebe uma quantidade significativa de turistas ao decorrer do ano mas não dispõe de infraestrutura pública apropriada, como é o caso do acondicionamento dos resíduos que ocorre em um lixão no município.

Durante o percurso, algumas limitações para acessar as informações da geração diária dos resíduos pelos setores do município dificultaram a realização de um maior aprofundamento e detalhamento do estudo. Desta forma, recomenda-se que sejam realizados monitoramentos contínuos no local de despejo dos resíduos, bem como, que as informações obtidas por este trabalho possam servir de base para que os gestores públicos municipais consigam readequar o gerenciamento e disposição dos RS produzidos e diminuir os impactos que tem sido ocasionado ao meio ambiente.