

APLICACIÓN DEL SOFTWARE VENSIM PARA EL AUXILIO DEL DIMENSIONAMIENTO DE DEPÓSITOS DE RESIDUOS SÓLIDOS

MSc. Daimarys Castro. Hernández¹, Ing. Januário André Aldo Masseco², MSc. Eng. Helder P. de Carvalho³, Noel Pérez de Medina Lantigua⁴

1. *Universidad de Matanzas, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba.*
daimarys.castro@umcc.cu

2. *Universidade Zambeze, Barrio 7 de Abril, Chimoio, Mozambique.*

Resumen

La falta de áreas dimensionadas para la deposición final de los residuos ha contribuido mucho a la mala gestión de los mismos, puesto que esto tiene que ver con la falta de conocimiento de métodos más eficaces que contribuyan a la mejora de la gestión de los residuos en el municipio. El objetivo del trabajo es presentar un modelo de simulación, utilizando la metodología systems dynamics, para auxiliar en la determinación de las dimensiones de depósitos de residuos sólidos urbanos, teniendo en cuenta las tasas de crecimiento poblacional, cantidad de residuos generada por cada habitante y el área disponible para el depósito de los residuos. Para el efecto se desarrolló un experimento con 3 escenarios, para evaluar el mejor escenario. Se utilizó el *software Vensim ple*, de Ventana *Systems* para el modelado y ejecución del sistema, con los resultados generados por el modelo de simulación, los gestores del área pueden de antemano discutir, evaluar y decidir posibles medidas necesarias para mejoras o adaptaciones en la gestión de residuos sólidos urbanos.

Palabras clave: *Modelado Ambiental, Gestión de Residuos Sólidos, System Dynamics*

Introducción

El término “residuos sólidos” es empleado en la denominación de aquellos materiales sólidos y semisólidos, que resultan de actividades de la comunidad, de origen diverso, tales como: industrial, doméstica, de servicios de salud, comercial y agrícola (PINTO, 1999). El presente trabajo de investigación busca analizar la problemática de los residuos sólidos, en la ciudad de Chimoio, las limitaciones que derivan de estos y cómo las entidades municipales, la población y otros actores sociales participan directa o indirectamente en la gestión de estos.

Los residuos sólidos como es visible en esta ciudad, son la causa de varios problemas de medio ambiente a la salud, pues es notable además del mal olor, concentración de insectos y otros animales, además de la degradación ambiental (CORREA, 2012).

El constante crecimiento económico y demográfico de los centros urbanos tiene como consecuencia una mayor producción de residuos sólidos, y este fenómeno a menudo no está acompañado de una respuesta adecuada en la gestión de los residuos. A pesar de ser un caso bastante preocupante, los residuos sólidos son fruto de las actividades humanas, ya que resultan de productos diversos, y que la parte no útil o la resultante de la mala conservación o incluso subaprovechamiento, se depositan en los vertederos, que a veces no se observan los cuidados ambientales, porque todos los tipos de residuos se depositan en el mismo lugar. La tendencia que se observa es que este producto ya no útil para el hombre, su volumen de producción ha aumentado progresivamente (MORAIS, 2013).

El concepto de gestión de residuos sólidos abarca actividades referentes a la toma de decisiones estratégicas ya la organización del sector para ese fin, involucrando instituciones, políticas, instrumentos y medios (LIMA, 1991).

Para el autor arriba mencionado, la solución del problema de los residuos puede implicar una compleja relación interdisciplinaria, abarcando los aspectos políticos y geográficos, la planificación local y regional, elemento de sociología y demografía, entre otros factores.

El presente trabajo, teniendo como base la importancia del adecuado manejo y destino final de los residuos para que se pueda iniciar la búsqueda por un desarrollo sostenible, presenta un modelo de simulación usando el software *Vensim ple* para auxiliar a los responsables que velan por la gestión de los residuos sólidos a los municipios a tomar decisiones referentes al destino final de estos, tales como la construcción de rellenos sanitarios o mayores incentivos a un correcto tratamiento de los residuos, tales como la construcción de plantas de compostaje y reciclaje (O'LEARY, 1999).

Para la construcción del modelo se tuvo en cuenta la población municipal, las tasas de nacimiento y mortalidad del municipio, la cantidad de residuo generada por habitante, así

como el área total destinada al almacenamiento de los residuos, ya que el objetivo principal de este es ayudar en las decisiones referentes a la producción y destino de residuos sólidos, teniendo en cuenta la existencia de depósitos no ambientalmente correctos, tales como los basureros.

1.2. Razón fundamental

La investigación de este tema, surge como una forma de auxiliar a los gestores del saneamiento ambiental urbano a nivel del municipio de Chimoio, en el dimensionamiento de depósitos suficientemente capaces de recibir grandes volúmenes de residuos sólidos por períodos largos, para reducir el descarte irregular de estos en el suelo el medio ambiente y, por consiguiente, los problemas medioambientales y de salud que están ligados a ellos cuando son mal gestionados.

El estudio pretende también despertar a la población para una visión crítica y reflexiva sobre nociones de protección al medio ambiente. Por lo tanto, los resultados del presente estudio, podrán constituir herramientas de ayuda en la gestión integrada de los residuos sólidos urbanos, ya que el uso del *Vensim ple* en el dimensionamiento de depósitos para la deposición de los residuos, podría ser una alternativa para reducir la cantidad de basura dispersa en el ambiente, pues este fenómeno, contribuye negativamente a la devaluación del área circundante del lugar donde ocurre la disposición de la basura, ayudando así a la población a vivir en el ambiente sano.

Por otro lado, el estudio podría contribuir a reducir el nivel de contaminación ambiental causado por la acumulación de estos residuos en lugares no apropiados, y para la clase académica servía de fuente de información relativa a la gestión de los residuos sólidos urbanos. En vista de la situación arriba expuesta, se plantea la siguiente cuestión:

¿Qué técnicas se pueden utilizar para que no haya falta de dimensiones correctas para la disposición final de los residuos sólidos urbanos por largo período en el municipio de Chimoio?

1.3. Hipótesis Se supone que la aplicación del software *Vensim ple* para el dimensionamiento de depósitos de residuos sólidos urbanos en el municipio de Chimoio podrá contribuir significativamente a la reducción de residuos que se encuentran dispersos en el suelo y en la toma de decisión en relación a la disposición final de estos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

□ Aplicar el software Vensim ple en el auxilio del dimensionamiento de depósitos de residuos sólidos urbanos en el municipio de Chimoio

1.4.2. Objetivos específicos

1. Estimar a la población futura de la ciudad de Chimoio para los próximos 50 años.
2. Cuantificar los residuos sólidos urbanos generados en el área de estudio para el período en estudio.
3. Dimensionar el área para la deposición final de los residuos sólidos urbanos generados en la misma área de estudio.
4. Sugerir estrategias al municipio de Chimoio para una gestión de residuos más eficaz e integrada.

3. Desarrollo

2.1 . Dirección del área de estudio.

El presente trabajo se desarrollo en la ciudad de Chimoio, que limita al este, al oeste, al norte y sur por el distrito de Gondola, en la provincia de Manica. La ciudad de Chimoio esta a 200 km de la ciudad de Beira y a 1100 km da capital del país, Maputo, tiene una temperatura mínima media de 21°C y máxima de 39.1°C, una humedad relativa média de 64.7% y precipitación mensual de 78.8mm. La ciudad tiene una población total de 237278 habitantes según el último censo realizado por INE en 2007 y tiene una población proyectada para 2017 de 335049 habitantes, presentando así las tasas brutas de natalidad y mortalidad de 12.2% y de 8.7% y una tasa de crecimiento poblacional de 3.5% (INE, 2007).

a. Dinamo

Según SANTOS (2006), el *Dynamo* fue el primer lenguaje de simulación de sistemas dinámicos. Esta herramienta fue desarrollada en el Instituto de Tecnología de Massachussets (MIT) por Jack Pugh, y su comercialización se dio a principios de la década de 1960, este software proporciona un entorno de desarrollo de ecuaciones para la construcción de modelos. Su uso se vuelve difícil ya que el mismo sólo posee versiones pagadas y una interfaz de difícil entendimiento y complejo desarrollo del sistema a ser utilizado para el estudio.

b. Componentes do modelo e funcionamento do *software Vensim ple*

En el *system dynamics*, un modelo es construido básicamente con cuatro componentes: estoques, flujos, auxiliares y conectores. Los estoques son variables de estado y pueden ser considerados como reservorios donde algo es acumulado, almacenando y potencialmente pasado para otros elementos del sistema (DEATON e WINEBRAKE, 2000).

Ellos dan una visión de como está el sistema en cualquier instante del tiempo. Cualquier variación en los estoques, que ocurre debido a la acción de los flujos, demandan un cierto tiempo, o sea, no son instantáneos (COVER, 1996).

Los flujos, a su vez, son variables de acción, y ellos pueden alterar los estoques, aumentando o disminuyendo los volúmenes. Los auxiliares sirven para formular los datos, así como para definir las ecuaciones de los flujos. Ellos sirven para combinar, a través de operaciones algebraicas, los flujos, estoques y otros auxiliares. Los auxiliares son usados para modelar las informaciones, y no el flujo físico, siendo capaz de alterarlos instantáneamente, sin atrasos (COVER, 1996).

Los conectores representan las interrelaciones entre todos los componentes del sistema. Son estas interrelaciones que unen los componentes que formarán una expresión matemática (DEATON e WINEBRAKE, 2000). En la figura 2 son presentados los símbolos referentes a cada uno de los componentes citados anteriormente.

Figura 1: Símbolos componentes del proceso de modelación del *System Dynamics*

Estoque	Flujo	Variável Auxiliar	Conector
			

Fuente: DEATON e WINEBRAKE, 2000.

c. Formulación de la hipótesis dinámica

Según SILVA (2006), la hipótesis dinámica es para trabajar la teoría del problema, analizando el comportamiento y observando cuales variables hacen parte del sistema. En este trabajo se incorporaran tres variables básicas: variación poblacional, generación de residuos y destino final dos residuos. Será usada una tasa de crecimiento poblacional de 3.5% al año para el primer y según escenario, y una tasa de 2.28% en el tercer escenario.

En el modelo propuesto será usada una variación en la generación de los residuos de 0.5kg/hab/día á 0.7kg/hab/día. El objetivo de esta etapa es formular una hipótesis que explique la dinámica como consecuencia de la estructura interna del sistema por medio de la interacción entre las variables y los agentes representados en el modelo, incluyendo reglas de desición (STRAUSS, 2010). Así, la hipótesis dinámica del modelo de este trabajo es definida a seguir:

La variación poblacional asociada a la cantidad de residuos generados por la población posee influencia directa en la cantidad total de residuos sólidos urbanos generados, en el reciclaje, en el destino final inadecuado y también, en el área total para la disposición final de los mismos en el vertedero sanitario o en otros tipos de depósitos.

d. Materiales y procedimientos metodológicos

En la realización del presente trabajo fue usada la metodología propuesta por LAW y KELTON (1991), que consistió en las siguientes etapas:

1. Estudios explorativos en artículos científicos y manuales de referencia;
2. Desarrollo de la solución, para la construcción de modelos capaces de representar el problema;
3. Implementación computacional de la solución, utilizando el simulador *vensim plus* del área de *System Dynamics*.

Las variables seleccionadas fueron las que pueden influenciar en los valores totales de generación y disposición final de los residuos sólidos urbanos, que son descritas a seguir:

- Tasa de nacimiento (NascTaxa), la tasa de mortalidad (MortTaxa), todas esas están influenciando directamente los flujos de y salida poblacional (AcrescPop e Decre Pop), los cuales determinan la población total del municipio. O sea fue utilizado en el modelo la tasa de crecimiento natural (total de nacimiento – total de muertes), la cual corresponde a la única forma posible de el crecimiento o reducción de la poblacional mundial, ecuación 1;
- La cantidad média de residuos (RSUPerCapita) generados por cada habitante multiplicada por la población total del municipio resulta en la cantidad total de residuos (Geração RSU) del municipio, ecuación 2;
- El área total ocupada por los residuos sólidos municipales es determinada por la división de la cantidad total de residuos generados por los habitantes por la cantidad de residuos que ocupa $1m^3$, ecuación 3.

Ecuaciones matemáticas

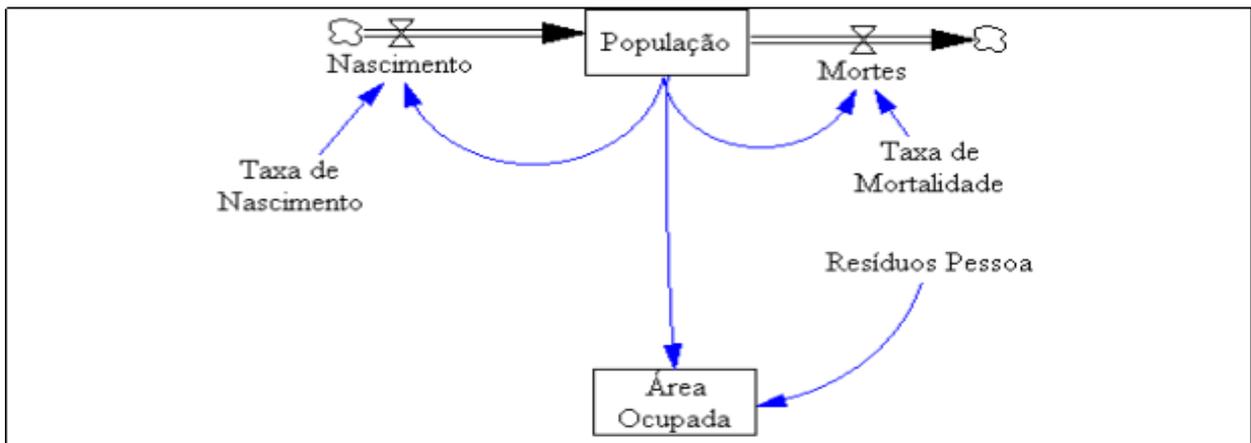
$$(1) \quad \text{Población}(t) = \text{AcrescPop}(t) - \text{DecrPop}(t)$$

- (2) $\text{GeneraciónRSU}(t) = \text{población}(t) * \text{RSUPerCapita}$
 (3) $\text{Área}(t) = \text{GeneraciónRSU}(t) / \text{RSUm}^3$

e. La Construcción del Modelo y realización del experimento

Con el transcurso de los años el área destinada al almacenamiento final de los residuos sólidos urbanos se torna pequeña, obligando a los responsables por la gestión de estos a buscar, de forma anticipada, en la prevención de problemas que podrán venir de tal escases (MONTEIRO, 2001). El modelo a ser presentado en este trabajo fue concebido para auxiliar el proceso de toma de decisión de los responsables por la gestión de residuos sólidos municipales, en lo que se refiere al dimensionamiento de áreas para el depósito de los residuos sólidos urbanos. Tales decisiones podrán envolver la construcción de vertederos sanitarios, crecimiento de las tasas de reciclaje y, en el peor de los casos, búsqueda de nuevas áreas para el depósito de residuos (vertedero).

Figura 2: Modelo para Dimensionamiento del Área para Almacenamiento de Residuos utilizando Vensim



Fuente: Autor, 2017.

f. Realización del experimento

Los residuos sólidos generados por la población no pueden ser reciclados, compostados, incinerados, almacenados en depósitos a cielo abierto. Para este experimento, se consideró solamente la última alternativa, debido a que más del 90% de los residuos sólidos municipales son depositados a cielo abierto. Para la simulación se utilizó datos referentes al año 2017 y el período simulado fue del año de 2017 hasta 2067. El área disponible actual para depósito de los residuos sólidos es de aproximadamente 12 hectáreas, densidad de los residuos para países en vía de desarrollo está entre 0.3 á 0.5 (ton/m³), esto según el relatório Sobre la (*Quantidade e Composição de RSD no Município de Maputo e Projeções de Quantidade ate 2021, 2010*). En este trabajo se asumió que en 1

m³ cabe una média de 0,4ton de residuos sólidos. Los escenarios utilizados en el experimento son:

Escenario 1 – En este escenario, fueron utilizadas las tasas anuales de nacimiento, mortalidad y de generación de residuos, que son respectivamente; 12.2%, 8.7% e 0.0005ton/persona.

Escenario 2 – En este escenario, se consideró la misma tasa de natalidad y mortalidad del escenario 1 en un aumento de la generación de residuos para 0.0006ton/persona, lo cual aumenta la cantidad de residuos almacenados en el depósito municipal.

Escenario 3 - En este escenario, se considero una disminución de 10% en la tasa de natalidad, y un aumento en la generación de los residuos para 0.0007ton/pesrsona, para verificar lo que esto podría acarrear en terminos de ocupación de área para colocar los residuos sólidos urbanos.

g. . Estimación de la población del municipio de Chimoio

La tabla 1 muestra el crecimiento de la población a partir del año 2017 hasta 2067 en 3 escenarios, y fue con base en esta tabla que se generó el gráfico 1.

Tabla 1: Resultados dos cenários da estimativa da população

Año	Población (hab)		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
2017	335049	335049	335049
2025	441196	441196	401268
2033	580970	580970	480574
2041	765027	765027	575553
2049	1007390	1007390	689305

2057	1326550	1326550	825538
2065	1746810	1746810	988696
2067	1871220	1871220	1034290

Fuente: Autor, 2017.

De acuerdo con la tabla se espera que el municipio de Chimoio tenga una explosión demográfica en los años 2017 a 2067 de aproximadamente a 2000000 habitantes, esto en los escenarios 1 y 2, ya que estos dos escenarios presentan la misma tasa de mortalidad y de natalidad. Si se produce una reducción en la tasa de natalidad en un 10% y con la misma tasa de mortalidad de los escenarios 1 y 2, el municipio tendrá una población de aproximadamente a 1100000 habitantes, estos son los resultados que el gráfico presenta en el escenario 3.

El crecimiento poblacional tiene sus consecuencias sobre el medio ambiente, la retirada de materia prima del medio ambiente desencadenó una grave crisis ecológica promovida por el crecimiento de la población. El crecimiento poblacional hizo que el hombre tuviera que buscar en la naturaleza los recursos necesarios para asegurar su supervivencia, haciendo que en consecuencia, tales recursos y demás especies fueran desapareciendo y otras tantas quedarán amenazadas de extinción, por otro lado el crecimiento poblacional desencadena (por ejemplo, la deforestación, la desertificación del suelo por la agricultura, contribuyendo así a un aumento en la generación de los residuos sólidos (CORSON, 2002).

h. Cuantificar los residuos sólidos urbanos en el municipio de Chimoio

En la tabla 2 muestra la producción de los residuos sólidos en el municipio de Chimoio a partir del año 2017 hasta 2067, en 3 escenarios diferentes.

Tabla 2: Producción de residuos sólidos en toneladas en los 3 escenarios

Año	Población de RS (ton)		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
2017	61146.44	73375.73	85605.02
2025	80518.27	96621.92	102523.97
2033	106027.03	127232.43	122786.66
2041	139617.43	167540.91	147053.79
2049	183848.68	220618.41	176117.43
2057	242095.38	290514.45	210924.96
2065	318792.83	382551.39	252611.83
2067	341497.65	409797.18	264261.10

Fuente: Autor, 2017.

De acuerdo con la tabla 2 arriba presentado se verifica que la producción de los residuos en cada escenario varía con el número de habitantes y capitación que se asumió en cada escenario. Se verificó por otro lado que en el primer escenario, la producción de los residuos hasta el año en estudio es de aproximadamente a 350000 toneladas, esto porque se usaron las tasas reales de nacimiento y de mortalidad y una capitación normal de residuos por persona, que en el segundo escenario, con el aumento de captación de residuos por persona traerá un aumento significativo en la producción de los residuos en el municipio, porque hasta el período en estudio el municipio tendrá una producción aproximadamente 400000 toneladas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los escenarios 1 y 2, se verificó que hubo mayor producción de residuos sólidos en el municipio de Chimoio lo que podría acarrear altos costos para la asignación de estos, siendo necesario que se desarrollen acciones para que se inicie la reducción en la fuente y la minimización de residuos, con el reutilización y el reciclado de materiales, ya que con el aumento poblacional urbano también habrá un aumento en la producción de los residuos sólidos urbanos y, consecuentemente, traerá graves problemas en el ambiente y en la salud humana.

En el tercer escenario del experimento realizado se verificó que presentó resultados mucho mejores en relación a los dos primeros escenarios, ya que en este escenario, se redujo la tasa de natalidad poblacional y hubo un aumento de la capitación de los residuos, donde la producción de los residuos fue de la producción aproximadamente a 250000 toneladas, pudiendo así afirmar que este fue el mejor escenario porque el municipio tendrá una producción menor de residuos posibilitando así menores áreas para su disposición final.

En los escenarios 2 y 3, la producción de residuos tiende a alcanzar un punto de equilibrio entre los años 2025 y 2035, esto se debe a la variación anual registrada de la población y la capitación diferenciada utilizada en los dos escenarios, el mismo fenómeno se produce en los escenarios 1 y 3 en los años 2040 a 50.

2.10. Dimensionamiento del área para la deposición final de los residuos generados

En la tabla 4 muestra cuál debe ser el área que el municipio debe disponibilizar para la disposición final de los residuos generados en 3 escenarios diferentes, a partir del año 2017 hasta el 2067.

Tabla 3: Área total ocupada para la deposición final de los residuos.

Año	Área total ocupada (he)		
	Escenario1	Escenario 2	Escenario 3
2017	7.64	9.17	10.70
2025	10.06	12.08	12.82
2033	13.25	15.90	15.35
2041	17.45	20.94	18.38
2049	22.98	27.58	22.01
2057	30.26	36.31	26.37
2065	39.85	47.82	31.58
2067	42.69	51.22	33.03

Fuente: Autor, 2017.

En el caso de que se produzca un cambio en la calidad de los alimentos, se debe tener en cuenta que, como se muestra en la tabla 4 y en el gráfico 3, teniendo en cuenta que el área total disponible para el próximo depósito es de aproximadamente a 12 hectáreas. Esto puede considerarse un buen resultado debido a que el inicio de la construcción del relleno sanitario u otro depósito de residuos (en otro lugar) podría estar previsto para el año 2033.

En el segundo escenario se verificó que usando las mismas tasas de Nacimiento y de Mortalidad del escenario 1 y aumentando la capitación a 0.0006ton / persona, habrá una

mayor producción de residuos en el municipio. Con mayor cantidad de producción de los residuos, el municipio tendrá que tener un área mayor para su disposición final, ya que el área disponible para el próximo depósito, en este escenario estará ocupada hasta los mediados del año 2024.

El escenario que presentó los mejores resultados fue el tercero, es decir, reduciendo en 10% la tasa de natalidad municipal y aumentando la generación per cápita a 0.0007ton / persona, el municipio necesitaría un área de aproximadamente a 34 hectáreas para la región de deposición final de todos los residuos producidos de 2017 a 2067.

En los escenarios 2 y 3, el área total para la disposición final de los residuos tiende a alcanzar un punto de equilibrio entre los años 2025 y 2035, esto se debe a la variación anual registrada de la población y de la capitación diferenciada utilizada en los dos escenarios que proporcionó una generación diferenciada de los residuos para los dos escenarios, el mismo fenómeno se produce en los escenarios 1 y 3 en los años 2040 a 2050.

Con estos resultados los responsables de la gestión de residuos de este municipio de Chimoio podrán dimensionar áreas mayores para acoger los residuos producidos en esta ciudad. Porque estos resultados pueden constituir una buena herramienta para una gestión integrada de los residuos, permitiendo así que la producción de los residuos no sea un problema para el medio ambiente, una vez que haya áreas dimensionadas para su deposición final.

Conclusión

El principal objetivo del trabajo fue de desarrollar un modelo de simulación computacional usando el *software Vensim ple* para auxiliar a los gestores municipales en el tamaño del área para la disposición final de los residuos sólidos, esta técnica contribuirá significativamente a la reducción de residuos que se encuentran dispersos en el suelo, reduciendo así la contaminación ambiental. Para el desarrollo del modelo se utilizaron variables como crecimiento poblacional, cantidad promedio de residuos generada por habitante, el sistema fue capaz de estimar la cantidad de Residuos Sólidos Urbanos, así como el área total de relleno sanitario a ser ocupada por los residuos generados por la población en un determinado período de tiempo. En el trabajo se presentaron tres escenarios distintos, los escenarios fueron generados por un experimento, hasta en el período simulado se verificó que en el primer escenario el municipio de Chimoio tendrá una población total de 1871220 habitantes y esta población tendrá una producción de 341497.65 toneladas de RSU, y estos residuos necesitarían un área de 43 hectáreas para su disposición final, en el segundo escenario la población fue la misma que en el primer escenario, ya que este escenario la presentó las mismas tasas de nacimiento y mortalidad del primer escenario, y tuvo como producción 409797.18 toneladas y el área a ocupar por los residuos generados en este escenario será de 52 hectáreas y en el último escenario que se consideró el mejor escenario, porque se verificó una reducción de la población en el municipio con 1034290 habitantes con una producción de 264261.10 toneladas de RSU

para un área de 33 hectáreas, se verificó que en este escenario habrá menor producción de residuos posible y que, por lo tanto, es menor el área para la disposición final de estos.

Bibliografía

1. BEIJOCO, Ana Filipa Pereira; *Optimização de um Sistema de Recolha e Transporte de Resíduos Sólidos Urbanos*; Lisboa; 2011.
2. BERNARDO, José; *Uma proposta metodológica para a gestão de resíduos sólidos urbanos na África*; Recife; 2008.
3. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2012
4. CHEHEBE, J.R. análise do ciclo de vida de produtos; ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro qualitymark., CNI, 1997
5. CONAMA, Resolução N° 275/2001, Ministério do meio ambiente, capítulo 4, artículo 34, &5, www.mma.gov.br/conama.
6. CONSELHO MUNICIPAL DE MAPUTO. Relatório Sobre a Quantidade e Composição de RSD no Município de Maputo e Projeções de Quantidade ate 2021. Maputo, Julho de 2010.
7. COPOLA, G. A Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: os aterros sanitários de rejeitos e os municípios. Fórum de Direito Urbano e Ambiental, Belo Horizonte, v. 10, n. 58, 2011.
8. CORREIA, Mônica Dorigo & Sovierzoski, Hilda Helena; *Ecosistemas marinhos: recifes, praias e manguezais*; Maceió; 2012
9. CORSON, Walter H., *Manual Global de Ecologia: O que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente*. 4 ed. São Paulo: Augustus, 2002, p. 23)
10. COVER, J. *Introduction to System Dynamics*. Powersim Press, 1996.
11. DEATON, M. L.; WINEBRAKE, J. J. *Dynamic Modelling of Environmental Systems*. Springer-Verlag, 2000.
12. DIAS, Genebaldo F. *Educação Ambiental: Princípios e Práticas*, São Paulo, Editora Gaia, 6. ed. Revisada e Ampliada, 2000.
13. FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – rs. Relatório sobre a geração de resíduos sólidos industriais do estado do rio grande do sul. Porto alegre: 2003
14. FERREIRA, S.L. Os “Catadores do lixo” na constituição de uma nova cultura: a de separar o lixo e da consciência ambiental. Maringá: Revista Uratágua - revista acadêmica multidisciplinar, 2005. pg 01- 06 n.7.
15. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (FEAM). *Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos*. Belo Horizonte, 36 p., 2010.
16. GOUVEIA, Nelson; *Resíduos sólidos urbanos: Impactos Socioambientais e Perspectiva de Manejo Sustentável com Inclusão Social*; São Paulo 2012.
17. INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA, *Dados populacionais da cidade da Chimoio*, 2007.

18. JAMES, Bárbara. Lixo e Reciclagem. São Paulo, Scipione, 1997. 43p.
19. LAW, A.M., KELTON, W.D. *Simulation Modeling & Analysis*. 2ª Ed., McGraw-Hill, 1991
20. LIMA, M. Q. Tratamento De Lixo. 2ª edição revista, São Paulo, 1991.
21. MAROUN, C. A. Manual de gerenciamento: Guia de procedimento passo a passo. Rio de Janeiro: GMA, 2006.
22. MARQUES, R. F. P. V. Impactos ambientais da disposição de resíduos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais. Lavras, 95 p., 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) -- Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras (UFLA).
23. MILANEZ, B. Resíduos sólidos e sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação. São Carlos, 207 p., 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) -- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR).
24. MOÇAMBIQUE. Assembleia da República. Lei 2/97, de 18 de Fevereiro. Aprova a Lei das Autarquias Locais. Boletim da República I série n.º7, Maputo, de 18 de Fevereiro de 1997.
25. MONTEIRO, J.H.P.; et al. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001.
26. MORAIS, D. C. Descrição ecoepidemiológica da comunidade do lixão municipal de Imperatriz-Ma. Goiânia, 80 p., 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) -- Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Saúde, Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC).
27. O'LEARY, *Decision Maker's Guide to Solid Waste Management. Vol. 2*. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1999.
28. PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 189 p., 1999. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).
29. REICHERT, Geraldo A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos: uma proposta inovadora. . Revista Ciência & Ambiente, número 18, Santa Maria-RS, 1999. 53-68p.
30. SANTOS, A. M. S. (2006) A Aplicação de um modelo de simulação para o gerenciamento de projetos: Um estudo de caso utilizando a dinâmica de sistemas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Universidade de São Paulo, São Paulo
31. SILVA, E. C. P. O impacto da gestão do tamanho da força policial na taxa de violência em Curitiba: Uma abordagem qualitativa sob o referencial da dinâmica de sistemas. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas)-Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2006
32. STRAUS, L. M. Um modelo em dinâmica de sistemas para o ensino superior. 2010. Dissertação (Mestrado em Administração)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
33. TCHOBANOGLIOUS, "*Wastewater Engineering*", *Metcalf & Eddy, Mc graw Hill*, 2003.
34. UNIVERSIDADE ZAMBEZE., Normas para apresentação de trabalho Científicos, Beira, Moçambique, 2012.

35. ZANTA, V.M. et al. Resíduos sólidos, saúde e meio ambiente: impactos. In: CASTILHOS júnior, A. B. (Coord.). Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 494 p.