

Um modelo computacional de redução do uso de copos plásticos em uma instituição de ensino superior

A computational model to reduce the use of plastic cups in an institution of higher education

Glauco Oliveira Rodrigues¹, Universidade Federal de Santa Maria
Crislei Daiana Siqueira Schuch², Universidade Federal de Santa Maria
Cristiane Rosa Moreira Lazzari³, Universidade Federal de Santa Maria
Eugênio de Oliveira Simonetto⁴, Universidade Federal de Santa Maria
Daniele Medianeira Rizzetti⁵, Universidade Federal de Santa Maria
Roberto De Gregori⁶, Universidade Federal de Santa Maria

RESUMO

A crescente geração de resíduos plásticos alerta o consumidor sobre a importância do consumo consciente e seu descarte correto, considerando os impactos que eles causam sobre o meio ambiente, devido ao tempo que levam para degradar-se. Considerando que o objetivo de qualquer iniciativa de conscientização ambiental abrange a comunidade, as Instituições de Ensino Superior (IES) tem a responsabilidade de estimular posturas individuais e coletivas, através de políticas institucionais, no sentido de colaborar para o desenvolvimento sustentável da comunidade. Aliado a necessidade de conscientizar a sociedade sobre a importância de se reduzir a geração de resíduos plásticos, está a necessidade de se reduzir custos devido aos constantes cortes de recursos que as IES vem sofrendo anualmente. Tendo em vista que em uma IES da região central do estado do Rio Grande do Sul o total de recursos contingenciados de 2014 à 2017, foi de cerca de R\$ 152 milhões, este estudo buscou demonstrar a viabilidade econômica de se extinguir a compra de copos plásticos, através da substituição por canecas de cerâmica, desta IES, com a finalidade tanto de redução de gastos, quanto de uso de copos plásticos. Para atender ao objetivo, foi realizada uma pesquisa baseada na dinâmica de sistemas, através do desenvolvimento de um modelo computacional, tendo por objeto de análise uma IES da região central do estado do Rio Grande do Sul. Os resultados demonstraram que o objetivo do estudo foi cumprido, na medida em que foi desenvolvido o Modelo que demonstra a quantidade de copos plásticos de café (50 ml) e água (200 ml) utilizados em uma IES e seus impactos no caso da substituição por canecas de cerâmica.

Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas; Impacto ambiental.; Resíduos plásticos

Editor Responsável:
Prof. Dr. Hermes
Moretti Ribeiro da
Silva

ABSTRACT

The growing generation of plastic waste has alerted the consumer about the importance of conscious consumption and its correct disposal, given the impacts it causes on the environment due to the time it takes to degrade. Considering that the goal of any awareness initiative is to inform the public, The Institute of Higher Education (IES) has the responsibility of stimulating individual and collective attitudes, through institutional policies, in order to collaborate for the sustainable development of the community. Allied to the need to make society aware of the importance of the reduced generation of plastic waste, there is a need to reduce costs due to the constant shortages of resources that the HEI has been suffering from annually. Considering that in an HEI of the central region of the state of Rio Grande do Sul the total contingent resources from 2014 to 2017 were about R \$ 152 million, this study sought to demonstrate the economic feasibility of extinguishing the purchase of plastic cups, through their substitution by ceramic cups in this IES in order to both reduce expenses and the use of plastic cups. In order to achieve the objective, a study was carried out using the dynamics of systems, through the development of a computational model, with the purpose of analyzing an IES in the central region of the state of Rio Grande do Sul. The results demonstrated that the objective of the study was attained and showed the amount of plastic coffee cups (50 ml) and water cups (200 ml) used in an HEI and the impact when these were replaced by ceramic mugs.

Keywords: Systems Dynamics; Environmental impact; Plastic waste.

1. Av. Roraima nº 1000 Cidade Universitária Bairro Camobi Santa Maria - RS CEP: 97105-900 +55 (55) 3220-8000, glaucop10@redes.ufsm.br; 2. crislei.schuch@gmail.com; 3. crismOREIRA@hotmail.com; 4. eosimonetto@gmail.com; 5. danieadm83@gmail.com; 6. glaucorodriguesp10@gmail.com

RODRIGUES, G.O.; SCHUCH, C.D.S.; LAZZARI, C.R.M.; SIMONETTO, E.O.; RIZZETTI, D.M. Um modelo computacional de redução do uso de copos plásticos em uma instituição de ensino superior. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 15, n. 3, p. 206 - 229, 2020.

DOI: 10.15675/gepros.v15i3.2581

1. INTRODUÇÃO

O acelerado processo de globalização das últimas três décadas do século XX, desencadeou uma significativa consciência da comunidade global sobre as responsabilidades com o meio ambiente. A adequação da ONU às novas exigências da comunidade global perante os riscos ambientais, trabalhistas e relacionados a direitos humanos, gerou a proposta do Pacto Global, que consiste na adoção de práticas sustentáveis de ação frente aos desdobramentos da globalização (INSTITUTO ETHOS, 2008).

Com um mercado impulsionado pelo consumismo e conveniência, juntamente com a comparação com o baixo preço dos materiais plásticos, a demanda por plástico está crescendo. Cerca de 299 milhões de toneladas de plástico foram produzidas em 2013, representando um aumento de 3,9% em relação à produção de 2012. Ademais, a produção mundial continuou a crescer entre as décadas de 1970 e 2012, quando os plásticos substituíram gradualmente materiais como vidro e metal (GOURMELON, 2015).

Um estudo realizado por Geyer *et al.* (2017) estimou que 8300 milhões de toneladas métricas (Mt) de plásticos virgens haviam sido produzidas. Segundo os autores, em 2015, foram gerados aproximadamente 6300 Mt de resíduos plásticos, dos quais 9% foram reciclados, 12% foram incinerados e 79% foram acumulados em aterros sanitários ou no ambiente natural. Além disso, eles destacam que se as tendências atuais de produção e gerenciamento de resíduos continuarem, aproximadamente 12.000 Mt de resíduos de plástico estarão em aterros ou no ambiente natural até 2050.

Thompson *et al.* (2009) acreditam que reduções imediatas consideráveis na quantidade de resíduos que entram nos ambientes naturais, em oposição aos aterros, podem ser alcançadas com melhor descarte de resíduos e manuseio de materiais. Para eles, talvez o aumento da capacidade de reciclagem ajude a reverter essa tendência, de modo que passemos a considerar os materiais em fim de vida útil como matérias-primas valiosas para nova produção, em vez de desperdício.

A primeira atitude mundial que demonstrou a preocupação em salvar o meio ambiente, foi a conferência das Nações Unidas que aconteceu na capital da Suécia, Estocolmo, em 1972. A Conferência de Estocolmo teve como objetivo conscientizar a sociedade a melhorar a relação com o meio ambiente e assim atender as necessidades da população presente sem

comprometer as gerações futuras. A partir dessa conferência, diversas outras ações foram tomadas no sentido decidir medidas que diminuíssem a degradação ambiental e garantisse a existência de gerações futuras, resultando em acordos importantes sobre a mudança climática, biodiversidade e compromisso com os princípios do Desenvolvimento Sustentável.

Já em 2015, a COP-21 conferência do clima da ONU ou Acordo de Paris onde as Nações Unidas definiram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) como parte de uma nova agenda de desenvolvimento sustentável, chamada agenda 2030, os 193 estados membros, foram unânimes em adotar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, como objetivo proteger o planeta da degradação, sobretudo por meio do consumo e da produção sustentáveis, da gestão sustentável dos seus recursos naturais e tomar medidas urgentes sobre a mudança climática, para que ele possa suportar as necessidades das gerações presentes e futuras (ONUBR, 2015).

Considerando atender ao objetivo desse trabalho, destaca-se o 12º ODS que trata de assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis e tem como meta reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso. O primeiro avanço nesse sentido no país, foi a edição da Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual tem como objetivos a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços e o incentivo à indústria da reciclagem, dentre outros.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2016, a massa total coletada no Brasil foi estimada em 58,9 milhões de toneladas, sendo que 59% são dispostas em aterros sanitários, 9,6% em aterros controlados, 10,3% em lixões e 3,4% encaminhados para unidades de triagem e de compostagem, restando então a parcela de 17,7% sem informação, a qual se refere sobretudo aos pequenos municípios até 30 mil habitantes (BRASIL, 2018a).

No Brasil, a taxa de cobertura do serviço regular de coleta regular de resíduos sólidos domiciliar em relação à população total atingiu 93,1% do total dos domicílios em 2012 e caiu para 91,5% em 2016. (BRASIL, 2018a). O índice de reciclagem mecânica¹ do plástico pós-

¹ A Reciclagem do plástico pós-consumo doméstico é chamada reciclagem secundária ou mecânica, segundo a ISO 15270, tem por característica da matéria-prima a mistura de diferentes tipos de resinas, grau elevado de contaminação com outras substâncias (principalmente matéria orgânica) (JORGE, 2015).

consumo foi 19,4% em 2010 de acordo com o relatório do Instituto Socioambiental dos Plásticos (2013). Tal situação não é muito diferente dos EUA, por exemplo, onde a reciclagem de plásticos é amplamente limitada a recipientes para bebidas, embora as autoridades locais continuem a expandir os tipos de plásticos coletados para reciclagem (BARNES, *et al.* 2009).

O Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo, atrás apenas de Estados Unidos, China e Índia. O país também é um dos que menos recicla este tipo de lixo: apenas 1,2% é reciclado, ou seja, 145.043 toneladas² (OGLOBO, 2019). Nos EUA, estima-se que os plásticos compreendam 11,8 e 16,3% da massa gerada e descartada de resíduos sólidos urbanos, respectivamente; na Europa os plásticos representam 7% da massa de resíduos gerados e compreendam 4 e 13% dos resíduos nas regiões da China que usam carvão e gás natural, respectivamente, e a média nacional para áreas urbanas é projetada para 14% em 2030 (BARNES *et al.* 2009).

O ínfimo percentual de lixo reciclados corroboram a afirmação de Gourmelon (2015) que a recuperação e a reciclagem permanecem insuficientes e milhões de toneladas de plástico acabam em aterros e oceanos a cada ano.

Sendo assim, enquanto a reciclagem não é efetiva, a ideia é incentivar a não utilização de copinhos plásticos ou de poliestireno, estabelecer substitutos que possam ser reutilizados em detrimento do uso de copos descartáveis. A redução do uso de copos descartáveis contribui também para a contenção de despesas, um problema que tem afetado diretamente as IES, devido aos cortes deliberados de recursos por parte do governo federal.

Segundo a Waste Management (2019), a poluição pelo plástico afeta a qualidade do ar, do solo e sistemas de fornecimento de água, já que o material absorve diversas toxinas e pode levar até 100 anos para se decompor na natureza, afirmando a importância de tratar de forma adequada o descarte do plástico.

Nesse sentido, esse artigo tem por finalidade a avaliação e análise da quantidade de copos plásticos de café (50 ml) e água (200 ml) que são utilizados por uma IES da região central do estado do Rio Grande do Sul e quais seriam os impactos no caso da substituição dos copos plásticos por canecas de vidro.

² Os dados são do estudo feito pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF, sigla em inglês). O relatório "Solucionar a Poluição Plástica – Transparência e Responsabilização" foi apresentado na Assembleia das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEA-4).
GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 15, nº 3, p. 206 - 229, 2020.

O artigo está organizado da seguinte forma: Na seção 2 é apresentado o método de pesquisa utilizado para o desenvolvimento do estudo. A seção 3 apresenta o referencial teórico. A seção 4 demonstra o desenvolvimento do modelo computacional. Na seção 5 são apresentados os resultados gerados pelo modelo para o experimento. As conclusões são apresentadas na seção 6 e as referências utilizadas são demonstradas na seção 7.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são expostos os subsídios teóricos considerados essenciais para o embasamento da pesquisa. Apresentam-se os principais conceitos que envolvem Resíduos Sólidos Urbanos, o Plástico e sua reciclagem e Dinâmica de Sistemas.

2.1. Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

A geração global de resíduos sólidos, fortemente correlacionada com a renda nacional bruta per capita, tem crescido constantemente nas últimas cinco décadas. A participação de plásticos nos resíduos sólidos urbanos (em massa) aumentou de menos de 1% em 1960 para mais de 10% em 2005 em países de renda média e alta, impulsionados pelo maior mercado de plásticos, as embalagens, uma aplicação cujo crescimento foi acelerado por uma mudança global de contêineres reutilizáveis para descartáveis (GEYER *et al.*, 2017).

A lei 12.305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que reconhece o resíduo sólido como reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, sendo alguns objetivos o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos e a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Segundo informação da CEMPRE (2017a), a partir da implantação da Política Nacional, considerando os aspectos relacionados à melhoria na disposição final dos resíduos e ao aumento da taxa de recuperação da fração seca do lixo sólido urbano, a partir de 2012, conseguiu-se evitar as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) na ordem de 7,02 Tg CO₂ equivalente por ano (7,02M toneladas CO₂ eq anuais), considerando-se que em torno de 7% das emissões de GEE no Brasil estão relacionadas com o gerenciamento dos resíduos sólidos.

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 15, n° 3, p. 206 - 229, 2020.

Jacobi (2006) explica que a fração do lixo que deixa de ser re-inserida na cadeia de produção não apenas aumenta os gastos municipais, como ocupa espaço precioso nos aterros já superlotados e deixa de representar uma economia em energia em insumos industriais como água e petróleo.

Nesse sentido, é importante citar a lei nº 12.305/2010, que ao declarar valor econômico e social dos resíduos sólidos, passando juridicamente de simples lixo a bem, adota-se uma perspectiva de proteção ambiental e desenvolvimento social, capaz de transformar efetivamente a cadeia produtiva, muitas vezes distante da preocupação com o futuro, conforme cita Granziera (2015).

Os resíduos são tipicamente classificados com base em seu ponto de geração. As categorias incluem municipal, comercial, industrial, agrícola e construção e demolição (C&D). No entanto, há ambiguidade nessas categorias. Por exemplo, nos EUA, os resíduos sólidos urbanos (RSU) incluem os gerados nos setores residencial, comercial e institucional (por exemplo, escolas, órgãos governamentais), enquanto em outros países, os RSU podem incluir qualquer coisa, desde resíduos residenciais apenas a todos os resíduos gerenciados no sistema municipal (por exemplo, C&D, industrial não perigoso) (BARNES *et al.*, 2009). No Brasil, abrangem os resíduos domiciliares, os originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010);

Com relação a coleta seletiva nos municípios, o diagnóstico do SNIS de 2016 demonstrou que a quantidade caiu pelo segundo ano consecutivo, ela é praticada em 1.215 dos 3.670 municípios participantes, o que representa 21,8 %, quando computa-se a quantidade de municípios sem informação sobre coleta, sendo que essa taxa era de 22,5% em 2015 e 23,7 em 2014.

O SNIS também avalia a quantidade de recicláveis secos recuperada (papel, plástico, metal, vidro e outros), independentemente do fato de virem ou não de uma coleta seletiva, as atividades de triagem resultam, nos 1.361 municípios que tiveram informações consideradas consistentes o aproveitamento do montante de 772,2 mil toneladas de recicláveis, ou seja, índice médio que se encontra, em 2016, nos 7,2 kg/hab./ano, menor em 10 pontos percentuais do valor apurado no ano anterior Dessa quantidade total, 77% ou 600 mil toneladas, é recuperada nas regiões Sul e Sudeste. Outros 19% ficam com as regiões Nordeste e Centro-Oeste e o restante (menos que 4%) é atribuído à região Norte. A região Sul se destaca como

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 15, nº 3, p. 206 - 229, 2020.

bem acima da média nacional, com um indicador médio 15,2 kg/hab./ano, mais que o dobro do resultado nacional de 7,2 (BRASIL, 2018a).

As empresas recicladoras são os principais consumidores de plásticos separados do lixo, as quais reprocessam o material, fazendo-o voltar como matéria-prima para a fabricação de artefatos plásticos, como conduítes, sacos de lixo baldes, cabides, garrafas de água sanitária, e acessórios para automóveis, sendo possível economizar até 50% de energia com o uso de plástico reciclado (CEMPRE, 2011).

2.2. O Plástico e sua reciclagem

Os plásticos são materiais feitos pelo homem, fabricados a partir de polímeros, ou longas cadeias de moléculas repetidas (GOURMELON, 2015). Eles são materiais baratos, leves, fortes, duráveis, resistentes à corrosão, com altas propriedades de isolamento térmico e elétrico (THOMPSON, *et. al*, 2009). Plásticos são derivados de petróleo, gás natural (GOURMELON, 2015), e segundo Andrady e Neal (2009), esses combustíveis fósseis são a matéria-prima preferida, embora também possam ser produzidos plásticos de recursos renováveis, como açúcar e milho. Cerca de 4% do petróleo do mundo é usado para fabricar plástico e outros 4% são usados para impulsionar os processos de fabricação de plásticos (GOURMELON, 2015).

Já a Reciclagem, segundo *Waste Management* (2019), é o processo pelo qual, resíduos que são destinados à disposição final são coletados, processados e reutilizados. *World Business Council for Sustainable* (2014) define reciclagem como sendo a separação de materiais do lixo domiciliar, tais como papéis, plásticos, vidros e materiais, com a finalidade de trazê-los de volta à indústria para serem beneficiados. Para Middlecamp, *et al.* (2016), a reciclagem é realizada a partir da coleta do plástico e transportado até uma instalação em que possa ser separado para uso como alguma mercadoria comercializável e após separados, os polímeros são fundidos. Segundo os autores, o polímero fundido pode ser usado diretamente na fabricação de novos produtos. O polímero misto (mistura de polímeros fundida), não é tão valioso quanto o puro, mas ainda pode ser usado para usos menos nobres, como potes plásticos, ou substitutos baratos de madeira.

O plástico é o único a possuir uma indústria recicladora, pois devido a sua complexidade, surgiu a indústria de reciclagem, responsável pela aquisição da sucata e dos

resíduos para fabricação da matéria-prima reciclada. Essa indústria fabrica as novas matérias-primas que entrarão novamente no processo produtivo (ABIPLAST, 2017). Segundo Pivinenko *et al.* (2016) a reciclagem de plásticos tem o potencial de substituir parcialmente os plásticos virgens como fonte de matérias-primas na fabricação de produtos plásticos.

Zanin e Mancini (2015) sugerem uma hierarquia para promover a reciclagem dos plásticos de forma mais sustentável e assim, tentar aproveitar as qualidades inerentes a cada material. Na reciclagem mecânica, a mistura de plásticos diferentes, normalmente leva à fabricação de um produto com propriedades mecânicas inferiores, já a reciclagem química, envolve a despolimerização controlada do plástico, visando a obtenção de produtos de valor agregado maior que a energia contida em um polímero. Na reciclagem mecânica, os plásticos são classificados, compostos por fusão e transformados em novos produtos. Já na química, os plásticos são despolimerizados em seus respectivos monômeros e subsequentemente re-polimerizados (KIRAN CILIZ *et al.*, 2004) ou em outros produtos químicos valiosos (BREMS *et al.*, 2012).

Segundo a ABIPLAST (2017) o consumo aparente de transformados plásticos, no Brasil, foi de 6,5 milhões de toneladas, em 2017, um crescimento de 4% em relação ao ano anterior. Mais de 90% do plástico bruto é produzido a partir de combustíveis fósseis (petróleo ou gás natural). Os polímeros são sintetizados por grandes empresas petroquímicas como ExxonMobil, Sinopec e Total. O plástico é então vendido aos fabricantes de plásticos para fazer objetos, principalmente por injeção, moldagem por sopro ou formação de calor. Esses objetos são montados ou vendidos diretamente pelos proprietários das marcas através de uma variedade de circuitos de varejo (D'AMBRIÈRES, 2019)

Destaca-se a importância da reciclagem do plástico, pois a cada 1 tonelada de material plástico reciclado produzido, reduz-se a emissão de 1,53 toneladas de Gases de Efeito Estufa na atmosfera e 1,1 tonelada em média de resíduo plástico disposto em aterros; têm-se uma economia média de 75% de energia; são evitados 450 L de água na produção; gera-se empregos de 3,16 catadores que recolhem esse volume de material no mês (ABIPLAST, 2017).

Zanin e Mancini (2015) afirmam que os materiais plásticos causam no ambiente impactos cujas principais formas estão nos extremos de sua cadeia produtiva: o esgotamento de matéria-prima não renovável e o acúmulo de resíduos de difícil degradabilidade. A ação de reciclar, então faz parte de um conjunto de procedimentos que visem a redução dos impactos

ambientais associados a eles. Nesse sentido, Geyer *et al.* (2017) afirmam que nenhum dos plásticos comumente usados é biodegradável. Como resultado, eles se acumulam, em vez de se decompor, em aterros ou no ambiente natural. Para esses autores, a única maneira de eliminar permanentemente os resíduos de plástico é por tratamento térmico destrutivo, como combustão ou pirólise e assim, a contaminação quase permanente do ambiente natural com resíduos de plástico é uma preocupação crescente.

Deve-se considerar também que os plásticos estão associados a questões ambientais substanciais, pois são baseados principalmente em matérias-primas não renováveis (por exemplo, petróleo), são comumente usados em produtos de vida curta (por exemplo, embalagens de alimentos) e, uma vez descartados, são predominantemente depositados em aterros ou incinerados (THOMPSON *et al.*, 2009). Jambeck *et al.* (2015), assinalam que se não forem descartados adequadamente, os resíduos de plástico podem acabar nos oceanos, criando assim outro problema ambiental de crescente preocupação (JAMBECK *et al.*, 2015). Segundo eles, foram encontrados restos de plástico em todas as principais bacias oceânicas, com um número estimado de 4 a 12 milhões de toneladas métricas de resíduos plásticos gerados em terra que entraram no ambiente marinho apenas em 2010.

Uma questão relevante na reciclagem é a importância da sociedade na separação do lixo, já que a principal liberação de plástico para o meio ambiente é o resultado do gerenciamento inadequado de resíduos e do comportamento humano inadequado, por exemplo, lixo (abandonando os resíduos longe dos pontos de coleta) (BARNES, *et al.*, 2009). Uma pesquisa realizada pela Clicossoft (2016) mostra que aparas de papelão e papelão são os recicláveis mais recolhidos pelos sistemas municipais de coleta seletiva (em peso), com 34% e em seguida, com 11% estão os plásticos em geral e, em primeiro lugar, os rejeitos com de 35%, o que confirma a importância da sociedade na separação do lixo (CEMPRE, 2016).

Outra questão que evidencia a importância da separação é que, conforme Zanin e Mancini (2015), os plásticos, se não forem convenientemente separados, podem vir a comprometer as propriedades finais do produto reciclado em função das variações físicas e químicas que apresentam entre si. Um estudo realizado por Luijsterburg e Goossensb (2014) mostrou que o método de coleta para os resíduos de embalagens plásticas praticamente não tem influência na qualidade final do reciclado; no entanto, as etapas de classificação e reprocessamento influenciam a qualidade final da reciclagem. Isto porque sempre estará presente alguma contaminação de polímero que afetará as propriedades finais dos reciclados.

Segundo a ABIPLAST (2017), a estimativa de reciclagem mecânica de material plástico pós-consumo é de 550 mil toneladas, sendo que as principais resinas consumidas são o polipropileno (PP), com 21,6%, e polietileno de alta densidade (PEAD) e policloreto de vinila (PVC), com 13,6%; o poliestireno (PS) dos copos plásticos ocupa a nona posição, com 6,5.

Uma questão importante com relação aos copos de poliestireno é que muitos são enviados para rejeito, permanecendo nos aterros por mais de 100 anos, que é o tempo que levam para se decompor. Segundo Jorge (2015), esse problema ocorre porque devido a sua contaminação, o preço pago pela sucata de poliestireno não compensa separá-lo, prensá-lo e armazená-lo.

Para realizar a análise e avaliação de impactos que uso de copos plásticos pode causar ao meio ambiente, a técnica adequada seria a de dinâmica de sistemas, a qual permite ao pesquisador testar diferentes políticas e soluções, avaliando o impacto de decisões (BASTOS, 2003).

2.3. Dinâmica de Sistemas

O nascimento da Dinâmica de Sistemas, como um campo formal de pesquisa, se dá a partir da publicação de um artigo escrito por Jay Wright Forrester, na Harvard Business Review, em 1958. Isto porque os resultados da simulação do artigo foram muito comentados, no meio acadêmico, em razão da técnica de simulação criada e usada por Forrester (MAANI e CAVANA, 2000; BASTOS, 2003).

A metodologia de dinâmica de sistemas propõe fundamentalmente a utilização de um modelo compartilhado de visão, a partir da construção de um diagrama de influências, que serve de base para a modelagem de um sistema simulado. Sendo que as condições pelas quais esse diagrama é construído, fundamentam-se em procedimentos empíricos (ANDRADE, 2006).

Bastos (2003) afirma que a Dinâmica de Sistemas é uma metodologia que busca mapear estruturas de sistemas organizacionais, ou sociais procurando examinar a inter-relação de suas forças e através de simulação, quer compreender como o sistema em foco evolui no tempo e como mudanças em suas partes afetam todo o seu comportamento (BASTOS, 2003).

A metodologia *system dynamics* (SD) permite o estudo do comportamento dos sistemas ao longo do tempo, de maneira a permitir a avaliação das consequências de nossas decisões (DAELLENBACH; MCNICKLE, 2005). Por tal motivo e a necessidade de estudar a reciclagem dos resíduos em um horizonte temporal futuro decidiu-se utilizá-la na modelagem e simulação computacional. De acordo com Daellenbach e McNickle (2005), a metodologia *system dynamics* (SD) permite o estudo do comportamento dos sistemas ao longo do tempo, de maneira a permitir a avaliação das consequências das decisões.

Um modelo de SD pode ser interpretado como a estrutura resultante da interação de políticas. Esta estrutura é formada por dois componentes principais, que são os estoques e os fluxos, tanto que Ford (2009) define os SD como uma combinação de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados. Sufian e Bala (2007) utilizaram essa abordagem para a modelagem do sistema de gestão de resíduos sólidos da cidade de Dhaka-Bangladesh. Outros autores que também utilizaram tal metodologia foram Abeliotis *et al.*, 2009; Dyson e Chang, 2005; Kum; Sharp e Harnpornchai, 2005.

Para Fernandes (2001), uma das aplicações da DS é a visualização de qualquer sistema humano, através da identificação das suas características estruturais, das relações causa-efeito-causa e das estruturas de *feedback*, por intermédio da construção dos chamados Diagramas de Influência. Tais diagramas, de natureza qualitativa, são utilizados para produzir uma descrição dos principais elementos que causam o comportamento de um sistema de *feedback*, sendo particularmente úteis para o desenvolvimento de um entendimento compartilhado do funcionamento de um sistema, ou mesmo para comunicar alguma descoberta.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada neste artigo de pesquisa é baseada na dinâmica de sistemas (DS), que tem como objetivo compreender a estrutura básica de funcionamento dos sistemas e, dessa forma, antecipar o comportamento que eles produzem. A maioria dos problemas que são analisados podem ser modelizados em computador. A dinâmica de Sistema tira proveito do fato dos modelos computacionais poderem ser complexos e efetuarem cálculos impossíveis de realizar por seres humanos ou pelos seus métodos de investigação convencional

Para contemplar o objetivo deste artigo desenvolveu-se um modelo computacional utilizando as etapas geradas por Law (2015) que são as seguintes: (I) Estudos exploratórios

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 15, nº 3, p. 206 - 229, 2020.

em artigos científicos, cartilhas governamentais, relatórios técnicos e observações do ambiente em que os dados foram coletados, (II) desenvolvimento da solução, definição das variáveis e seus relacionamentos, (III) implementação computacional da solução no software Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2018), (IV) verificação e avaliação (v&a) da solução mediante testes em laboratório e análise do comportamento histórico.

O modelo foi concebido, verificado e avaliado tendo por objeto de análise uma IES da região central do estado do Rio Grande do Sul, mas pode ser aplicado e estendido a outras organizações, desde que as especificidades do caso sejam adicionadas e tratadas no modelo. As etapas de desenvolvimento do modelo foram realizadas na IES pela facilidade de acesso aos dados e às pessoas que possuem conhecimento sobre o tema do estudo, logo, a escolha dessa instituição foi por conveniência. A principal justificativa para aplicação do modelo desenvolvido leva-se em conta a crise econômica presente na IES além de apresentar uma forma de gerar menos impacto ambiental no excesso do uso do plástico.

As fontes primárias foram essencialmente empreendidas através de pesquisa bibliográfica e pesquisa documental, além de entrevista realizada ao responsável pela área relacionada com o estudo.

As fontes secundárias utilizadas estão relacionadas com as informações de caráter mais genérico, tais como informações sobre a logística da compra dos copos plásticos adquiridos diretamente na IES parceira do estudo. O estudo teórico que embasa o modelo computacional será apresentada na próxima seção.

3.1 Componentes do Modelo

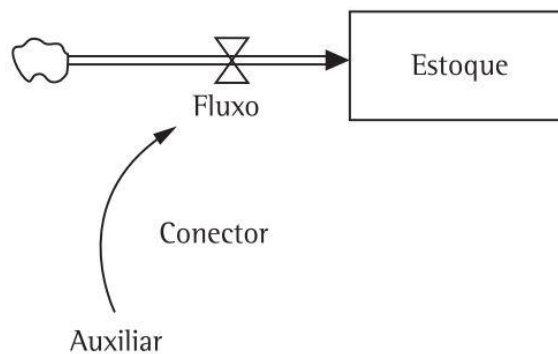
Um modelo em Dinâmica de Sistemas é construído com basicamente quatro componentes que veremos a seguir. Os estoques são variáveis de estado e podem ser considerados como repositórios para acumular ou armazenar para outros elementos do sistema (DEATON; WINEBRAKE, 2000), tem como principal importância fornecer uma visão de como está o sistema em qualquer instante de tempo, mudanças nos estoques não são instantâneas, elas demandam certo tempo e ocorrem devido à ação dos fluxos.

Por sua vez, os fluxos, são variáveis de ação, elas podem aumentar ou diminuir o volume determinado no estoque. Produz crescimento ou redução dos estoques, o movimento de materiais e a informação dentro do sistema.

As variáveis auxiliares são componentes para a realização de operações algébricas, que processam informações a respeito dos estoques e fluxos ou representam fontes de informação externas ao sistema (BLOIS; SOUZA, 2008). Existem os auxiliares que também podem modificar outras variáveis auxiliares, são muitos utilizados para modelar as informações e não o fluxo físico, podendo alterar instantaneamente sem atrasos (COVER, 1996).

Por fim, existem os conectores que são os que representam as inter-relações entre todos os componentes, ou seja, são essas interligações que ligam os componentes que formam a expressão matemática (DEATON; WINEBRAKE, 2000). Possuem função de *links* de informação que descrevem a relação entre estoques, fluxos e auxiliares. A Figura 1 demonstra cada um dos componentes de um modelo de Dinâmica de Sistemas. Nas subseções a seguir serão explicados, mais detalhadamente, os elementos de Dinâmica de Sistemas, através do estudo elaborado por Strauss (2010).

Figura 1 - Componentes do modelo



Fonte: Simonetto, E. de O. ;Lobler, M. L(2013)

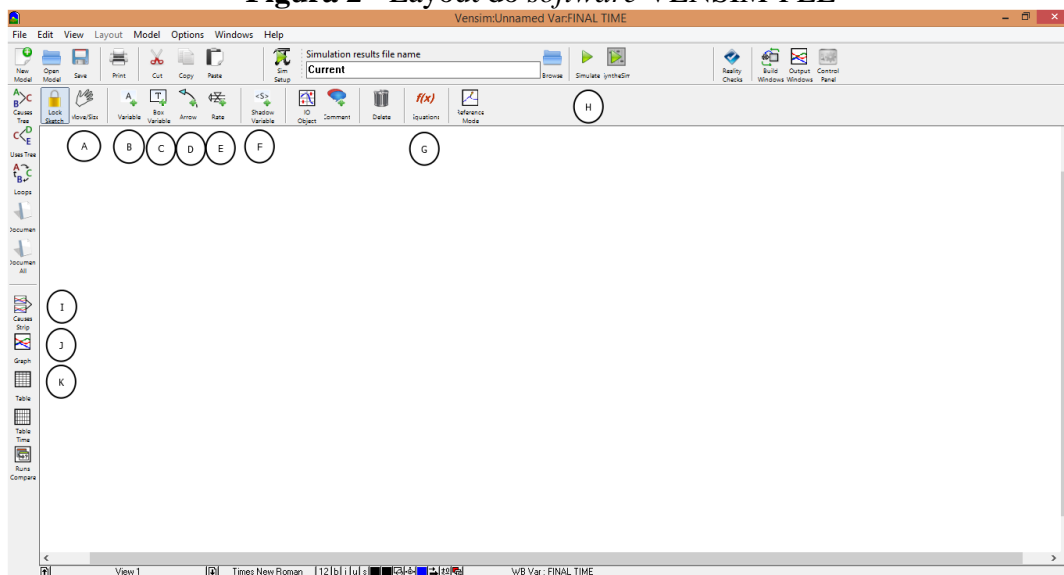
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para realizar a análise dos resultados da simulação computacional, será utilizado o *software* Vensim. O Vensim possui as características de melhorar os sistemas reais, sendo muito utilizado para desenvolver e analisar modelos de dinâmica de sistemas.

Através das ferramentas e suas extensões, apresenta para o usuário uma análise de alta qualidade, com dimensões que absorvem e checam a realidade. Podem-se interligar diferentes

variáveis, atribuindo diferentes pesos além de fornecer ao usuário um ambiente para criação de modelos flexíveis. Outro benefício do software é o mesmo ser gratuito, podendo ser utilizado em salas de aula ou em outros ambientes educacionais. A Figura 2 apresenta o layout do software e as marcações das funções que serão utilizadas neste projeto.

Figura 2 - Layout do software VENSIM-PLE



Fonte: Elaborado pelos autores.

Descrição das ferramentas necessárias para o projeto:

(A) **Move/Size Words and Arrows:** Permite apontar uma variável, movê-la e alterar o tamanho. Quando essa tecla é pressionada surge um círculo no canto inferior direito das variáveis do modelo. Deslocando o círculo com o cursor podemos alterar o tamanho/formato da variável.

(B) **Variable – Auxiliary/Constant:** Define/cria uma variável, normalmente, uma constante. Pode ser uma auxiliar especificada “withlookup”. Essas definições são feitas no editor de Equações que veremos a seguir, que aparece quando apontamos a variável e o botão “Equations”. É utilizada para definir constantes, equações e tabelas “x” e “y”, não deve ser usada para acumular valores.

(C) **Box Variable – Level:** Define/cria uma variável onde vão ser acumulados valores. Normalmente do tipo “Level”. Os valores que serão somados ou subtraídos devem ser sempre indicados com variáveis definidas com o botão “Rate”. No editor de Equações temos de informar o valor inicial do acumulador.

(D)Aroox: Informa a uma variável a existência de outra variável que será usada na equação. A ponta da seta ficará no local onde o movimento do cursor terminar. No meio da “Aroow” vai aparecer um círculo que permite ajustar a seta resultante.

(E)Rate: Define / cria uma variável do tipo “Constant”, que poderá ser um valor ou uma equação. Essas variáveis indicam os valores que serão somados ou subtraídos nas variáveis acumuladores (Box Variable - Level).

(F)Shadow Variable: Define/cria uma variável já existente. Uma das que nós já criamos ou uma do sistema como <Time>. Ajuda a construir modelos sem setas (Arrow) cruzadas.

(G)Equations: Abre o Editor de Equações para colocarmos valores ou equações numa variável.

(H)Set up a Simulation: Executa uma simulação, permitindo alterar as variáveis exógenas.

(I) Causes Strip: Mostra quadro com os gráficos das “variáveis” e constantes que afetam a variável selecionada.

(J)Graph: Mostra quadro com o(s) gráfico(s) da variável selecionada.

(K)Table: Mostra quadro com tabela (semelhante Excel) apresentando os valores da variável selecionada, em linha(s) na horizontal.

A seguir será descrito a lógica e criação do modelo computacional baseado em dinâmica de sistemas.

4.1 Desenvolvimento do Modelo Computacional

As IES tem a reponsabilidade corporativa de estimular a conscientização da sociedade sobre consumo e geração de resíduos plásticos, de forma a minimizar o prejuízo ambiental causado por eles, quando enviados para aterros. Aliado a isto está a necessidade de se reduzir custos devido aos constantes cortes de recursos que as IES vem sofrendo anualmente.

Nesse sentido, foi construído um modelo para avaliar e analisar a quantidade de copos plásticos de café (50 ml) e água (200 ml) que são utilizados por uma IES da região central do estado do Rio Grande do Sul e quais seriam os impactos no caso da substituição dos copos plásticos por canecas de vidro.

Para realizar a simulação e avaliar os impactos financeiros do consumo dos diferentes copos plásticos foram gerados três cenários, os dados utilizados em cada cenário está

GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 15, nº 3, p. 206 - 229, 2020.

representado na Tabela 1. O primeiro cenário criado é o “*Cenário Atual*” com o intuito de armazenar os valores referentes as compras que acontecem no ano de 2018, este cenário servirá de base para a comparação com os outros dos cenários desenvolvidos. O segundo cenário desenvolvido é o “*Cenário 50%*”, onde será reduzido a compra em 50% de copos plásticos além da compra de uma caneca, de 200 ml e outra de 50 ml, para cada servidor da IES. Por fim, o “*Cenário 100%*” analisará a compra zero de copos plásticos pela IES, pretendendo que cada servidor tenha sua caneca de uso pessoal, tentando diminuir o consumo do plástico.

Tabela 1 - Cenários

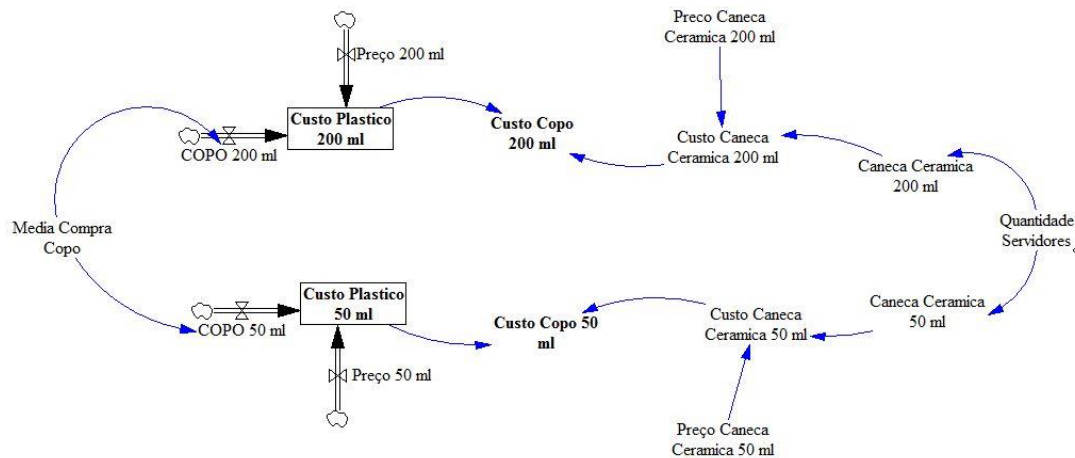
	Cenário Atual	Cenário 50%	Cenário 100%
Custo Copo 50 ml (Reais)	0,093	0,093	0,093
Custo Copo 200 ml (Reais)	0,0235	0,0235	0,0235
Custo Caneca 50 ml (Reais)	4,00	4,00	4,00
Custo Caneca 200 ml (Reais)	7,00	7,00	7,00
Quantidade Servidores	4786	4786	4786
Redução da Compra de Copo (%)	0	50	100

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados das quantidades consumidas de copos plásticos foram retirados e coletados diretamente na IES objeto centro do estudo, que apresenta um total de 4783 servidores. Após os cenários estabelecidos, construiu-se o modelo computacional, o qual está apresentado na Figura 3.

O modelo é composto de duas variáveis de esto (“*Custo Plástico 200 ml*”, “*Custo Plástico 50 ml*”), quatro variáveis de fluxo (“*Copo 200 ml*”, “*Copo 50 ml*”, “*Preço 200 ml*”, “*Preço 50 ml*”) além de dez variáveis auxiliares (“*Media Compra Copo*”, “*Custo Copo 200 ml*”, “*Custo Copo 50 ml*”, “*Preço Caneca Cerâmica 200 ml*”, “*Custo Caneca Cerâmica 200 ml*”, “*Custo Caneca Cerâmica 50 ml*”, “*Preço Caneca Cerâmica 50 ml*”, “*Caneca Cerâmica 50 ml*”, “*Caneca Cerâmica 200 ml*”, “*Quantidade Servidores*”), a interação destas variáveis está exposta na Figura 1.

Figura 3 - Modelo proposto e suas variáveis



Fonte: elaborado pelos autores.

O modelo é dividido em duas vertentes, o lado esquerdo representa a interação das variáveis do modelo de compra atual, a variável “*Media Compra Copo*” foi criada com o propósito de reduzir a compra do copo plástico gradualmente, é com ela que as porcentagens dos cenários são inseridos, podendo ofertar ao decisor a aplicação de outras porcentagens de compra, reforçando melhor a decisão da compra de copos plásticos da IES. O lado direito do modelo apresenta a proposta dos pesquisadores, onde cada servidor teria direito a uma caneca de 200 ml e outra caneca de 50 ml, sendo que os custos envolvidos na compra das canecas foram retirados de análises em documentos oficiais além de pregões online e se referem a R\$7,00 e R\$4,00 respectivamente. As equações do modelo estão representadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Equações do Modelo

- (1) $COPO\ 200\ ml = 676300 * Media\ Compra\ Copo$
- (2) $COPO\ 50\ ml = 380200 * Media\ Compra\ Copo$
- (3) $Custo\ Plastico\ 200\ ml = COPO\ 200\ ml * Preço\ 200\ ml$
- (4) $Custo\ Plastico\ 50\ ml = COPO\ 50\ ml * Preço\ 50\ ml$
- (5) $Custo\ Caneca\ Ceramica\ 200\ ml = Caneca\ Ceramica\ 200\ ml * Preço\ Caneca\ Ceramica\ 200\ ml$
- (6) $Custo\ Caneca\ Ceramica\ 50\ ml = Caneca\ Ceramica\ 50\ ml * Preço\ Caneca\ Ceramica\ 50\ ml$
- (7) $Custo\ Copo\ 200\ ml = Custo\ Caneca\ Ceramica\ 200\ ml + Custo\ Plastico\ 200\ ml$
- (8) $Custo\ Copo\ 50\ ml = Custo\ Caneca\ Ceramica\ 50\ ml + Custo\ Plastico\ 50\ ml$

Fonte: Elaborado pelos autores.

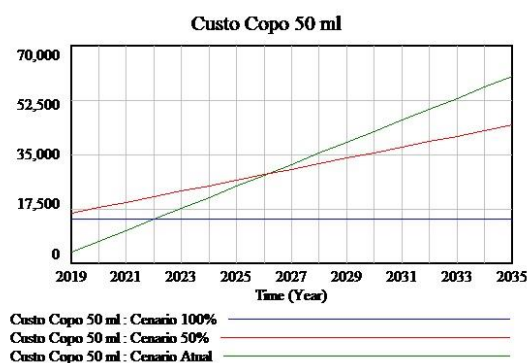
As Equações 1 e 2 apresentam o valor médio de compra de copos anual multiplicados pela média de compra anual, possibilitando verificar o impacto financeiro da compra de diferentes quantidades de copos. As demais equações são referentes aos custos em reais da compra de canecas e copos plásticos. A seção a seguir apresenta os resultados da simulação do modelo computacional.

4.2 Resultados da Simulação Computacional

Após a definição dos três cenários foram executadas as simulações no simulador Vensim (VENSIM, 2018) em um computador com processador Pentium Core i3 e 8 Gb de memória RAM. O tempo de execução da simulação foi na ordem de milionésimos de segundos. O horizonte de tempo simulado no experimento foi de 15 (quinze) anos, porém a configuração dessa variável fica a cargo do projetista / usuário, pois a mesma depende da análise a ser feita.

As decisões, a partir dos resultados gerados pelo modelo, poderão envolver a adoção ou não, da compra das canecas de cerâmica. A figura 4 apresenta o custo do copo de 50 ml para a IES. O cenário 100 %, onde a IES não irá mais comprar copos de 50 ml, apresentou melhor resultado, podendo totalizar uma economia de aproximadamente R\$466.519,00 aos cofres públicos no final da simulação. O cenário 50 %, onde será comprado a metade da demanda de copos, renderá menor custo a partir de 2027, apresentando em 2035 uma economia de aproximadamente R\$16.000,00.

Figura 4 - Custo e cenários para o copo de 50 ml

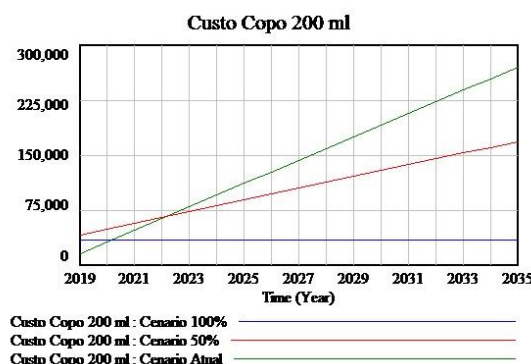


Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos copos de 200 ml, demonstrada na figura 5, também apresentou o cenário 100% com melhor desempenho, totalizando um gasto de R\$33.502,00 considerando-se que cada servidor ganhará apenas duas canecas, isentando a responsabilidade da IES em repor as mesmas. Este cenário possui custo maior que o atual embora em apenas dois anos de simulação, ou seja, partir de 2021, este cenário apresentará menor custo, possibilitando que a IES possa investir o gasto com copos plásticos em outros setores ou produtos. Em 2035 o cenário 100% poderá apresentar uma economia de aproximadamente R\$ 2.127.000,00, um valor considerável que pode representar uma ótima oportunidade de estratégia para a redução de custos da IES. Está economia corrobora com a pesquisa de Thompson et al. (2009), onde os pesquisadores afirmam que a utilização de resíduos com maior durabilidade, ao invés dos resíduos descartáveis, gerará maior economia para a organização.

O cenário 50 % até 2022 representa um maior investimento para a instituição, mas a partir de 2023 poderá apresentar uma economia de R\$ 36.000,00 ao ano, quando comparado ao cenário atual e no ano de 2035, somando todas as diferentes, o cenário 50% poderá apresentar uma economia financeira de até aproximadamente R\$544.000,00.

Figura 5 - Custo e cenários para o copo de 200 ml



Fonte: Elaborado pelos autores.

Pode-se perceber que a partir de 2029 a diferença entre o cenário atual e o cenário 50% começa a ganhar uma maior proporção, reforçando a importância da redução na compra de copos plásticos, que parece ser algo desprezível mas poderá ofertar uma grande economia financeira para as Instituições de Ensino Superior, possibilitando o investimento desta redução em outra áreas de ensino. Gourmelon, 2015 e Geyer *et al.* (2017) definem que a

utilização de recursos com maior ciclo de vida poderá gerar economia financeira e ambiental para as instituições mundiais.

5. CONCLUSÕES

O debate sobre crise ambiental tem proporcionado maior consciência à população em geral, com relação à mudança de atitude que se deve ter para minimizar os impactos negativos causados ao meio ambiente.

As IES podem e devem ser agentes transformadores nas comunidades das quais fazem parte no sentido de impulsionar a consciência ambiental frente ao consumo consciente e o descarte correto de resíduos plásticos. Além disso, as IES precisam identificar formas de enfrentar os cortes de orçamentos para o ensino, que vem correndo anualmente por parte do governo federal.

As diversas possibilidades de reaproveitamento do resíduo estão relacionadas à Sustentabilidade, pois abrangem o fator econômico, o fator social e o fator ambiental. Quando em contato com o meio ambiente,

O modelo proposto demonstrou que, mesmo com a compra de duas canecas para cada servidor, os custos são compensados em até no máximo 4 anos. O melhor resultados é demonstrado pelo “Cenário 100%”, considerando os copos de 50ml, que pode chegar a uma economia de aproximadamente R\$466.519,00 aos cofres públicos no final da simulação. Até mesmo o “cenário 50%”, para ambos os copos, o qual considera a compra da metade da demanda atual, em poucos anos é compensatório excedendo recursos para serem investidos nas demais atividade da IES. O modelo, que pode ser reconfigurável e aberto, pode ser aprimorado com novos cenários para avaliar a inserção de novas variáveis que auxiliam no processo de redução de utilização copos plásticos, entre os quais se destaca a utilização de canecas.

Através dos resultados gerados pelo modelo, os usuários finais (gestores ambientais) do mesmo poderão, por exemplo, definir incentivos à redução da geração total de resíduos sólidos, incentivos ao aumento das taxas de consumo verde, produzir campanhas valorizando o reuso e a reciclagem de materiais e avaliar os benefícios relativos à economia ocasionados pela reciclagem.

Sendo assim, conforme demonstram os resultados da pesquisa, a redução e ou extinção do uso de copos plásticos na IES, contribui, tanto para a redução de impactos ao meio

ambiente que os copos podem causar, quanto para a redução de despesas com o consumo desse material, possibilitando que os recursos excedentes sejam investidos em outras áreas mais carentes.

Tendo tais resultados satisfatórios no presente estudo, destaca-se a importância de outros estudos relativos à reciclagem, utilização de outros produtos não oriundos do plástico e reuso de resíduos sólidos, os quais poderão contribuir para a tomada de decisões quanto às iniciativas mais relevantes no que tange a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Este experimento realizado deixa claro que, apesar do custo de aquisição de novas canecas, a redução do uso de copos plástico reduz o custo anual da compra do mesmo. Os resultados apontam uma estratégia, que poderá ser aplicada por qualquer Instituição, para a redução do acúmulo de resíduos e desperdício de matéria prima, possibilitando uma alternativa mais saudável para o meio ambiente.

Como trabalho futuro pretende-se a análise a questão ambiental da reciclagem do plástico. A reciclagem de plásticos também leva a reduções significativas nas emissões atmosféricas de CO₂, porque o uso de plástico reciclado evita a emissão de uma quantidade equivalente à gerada durante a produção de plástico bruto.

Referências

ABELIOTIS, K. Decision Support Systems in Solid Waste Management: A Case Study at the National and Local Level in Greece. **Global Nest Journal**, v.11, n. 2, p. 117-126, 2009.

ABIPLAST. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. perfil 2017. SÃO PAULO, 2017. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

ANDRADE, A.L; SELEME, A.; RODRIGUES, L.H.; SOUTO, R. **Pensamento Sistêmico: Caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade**. Porto Alegre, Bookman, 2006.

ANDRADY, A.; NEAL, M.A.: Applications and societal benefits of plastics. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 364, p. 1977–1984,2009.

AZEVEDO, L. V.; RIONDET-COSTA, D. R. T.; SANTOS, J. R. **Desenvolvimento sustentável e políticas públicas de educação ambiental**. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=28thdwaqbaj&printsec=frontcover&hl=pt-br#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 27 jun. 2018.

BARNES, D. K. A., et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Phil. Trans. Revista Soc. B.*, v. 364, p. 1985–1998, 2009.

BRASIL. LEI N. 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos.** Diário oficial da união Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – 2016: **diagnóstico com o texto de análise dos dados.** Brasília, 2018a. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>. Acesso em: 30 jun. 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – snis planilhas: **conjunto das tabelas com as informações e os indicadores, disponibilizadas em Excel.** Brasília, 2018b. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2016>. Acesso em: 30 jun. 2018.

BREMS, A., et al.: Recycling and Recovery of Post-Consumer Plastic Solid Waste in a European Context. *Thermal Science*, v. 16, n. 3, p. 669-685, 2012.

CEMPRE. **Compromisso empresarial para a reciclagem.** São Paulo, 2011. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/4/plasticos> . Acesso em: 03 jul 2018.

CEMPRE. **Compromisso empresarial para a reciclagem.** São Paulo, 2016. Disponível em: <http://cempre.org.br/cempre-informa/m/ano/2016>. Acesso em: 03 jul 2018.

CEMPRE. **Compromisso empresarial para a reciclagem.** São Paulo, 2017a. Disponível em: <http://cempre.org.br/cempre-informa/id/108/cempre-faz-apresentacao-durante-a-cop-23>. Acesso em: 03 jul 2018.

CEMPRE. **Compromisso empresarial para a reciclagem.** São Paulo, 2017b. Disponível em: <http://cempre.org.br/cempre-informa/id/103/gpa-e-braskem-produzem-embalagens-com-plastico-reciclado>>. Acesso em: 03 jul 2018.

DAELLENBACH, H. G.; MCNICKLE, D. C. **Management science decision making through systems thinking.** Palgrave Macmillan, New York, 2005.

D'AMBRIÈRES, W. Plastics recycling worldwide: current overview and desirable changes. **Field Actions Science Reports** [Online], Special Issue 19, 2019.

DYSON, B., CHANG, N.B. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, v.25, n.7, p.669- 679, 2005.

FERNANDES, A. C. **Dinâmica de sistemas e business dynamics:** tratando a complexidade no ambiente de negócios. Disponível em:

- http://www.academia.edu/4274281/dinamica_de_sistemas_e_business_dynamics_tratando_a_complexidade_no_ambiente_de_negocios. Acesso em: 03 jul 2018.
- FORD, A. **Modeling the environment**, Second Edition. Island Press, 2009.
- FORRESTER, J. W. **Dinâmica industrial**. Buenos Aires: el ateneo. 1972. 449 p.
- GEYER, R. et. al. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, 2017|.
- GOURMELON, G. **Global Plastic Production Rises, Recycling Lags**. Vital Signs – Global Trends That Shape our Future. 2015.
- GRANZIERA, M. L. M. **Direito ambiental**. 4ª edição São Paulo: atlas, 2015.
- INSTITUTO SÓCIO-AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS – PLASTIVIDA. **Monitoramento dos índices de reciclagem mecânica de plásticos no brasil**, 20013. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/images/temas/apresentacao_irmmp_2012.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2018.
- INSTITUTO ETHOS DE EMPRESAS E RESPONSABILIDADE SOCIAL E UNIETHOS – **Educação para a responsabilidade social e o desenvolvimento sustentável**. Responsabilidade social das empresas: a contribuição das universidades. São Paulo: Peirópolis, 2008.
- JACOBI, P. **Gestão compartilhada dos resíduos sólidos no Brasil: inovação com inclusão social**. organização de pedro jacobi – São Paulo: annablume, 2006.
- JAMBECK, J. R. R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v. 347, n.6223, p. 768-771, 2015.
- JORGE, L. M. **A cadeia de reciclagem do plástico pós-consumo na região metropolitana de porto alegre**. 2015. 175 p. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- KIRAN C. et al. Pyrolysis of virgin and waste polypropylene and its mixtures with waste polyethylene and polystyrene. **Waste Management**, v. 24, p. 173 – 181, 2004.
- KUM, V.; SHARP, A.; HARNPORNCHAI, N. A. System Dynamics Study of Solid Waste Recovery Policies in Phnom Penh City. In: 23rd INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE SYSTEM DYNAMICS SOCIETY. **Anais...** Boston.Proceedings SDS, 2005.
- LAW, A.M. **Simulation Modeling and Analysis**.5Ed., McGraw-Hill, 2015.
- LUIJSTERBURG, B.; GOOSSENS, H.: **Assessment of plastic packaging waste: Material origin, methods, properties**. Science direct, V 85, 2014, pp. 88-97. doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.010

MIDDLECAMP, C. H. **Química para um futuro sustentável**. 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=qegpcwaaqbaj&printsec=frontcover&hl=pt-br#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 04 jul. 2018.

OGLOBO.COM, **Brasil é o 4º maior produtores de lixo plástico do mundo**. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2019/03/04/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-lixo-plastico-do-mundo-e-recicla- apenas-1.ghtml>. Acesso em jan de 2017, 2017

ONUBR. **Nações unidas do brasil**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 27 jun. 2018.

SUFIAN, M.A., BALA B.K. Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. **Waste Management**, v.27, p.858-868, 2007.

THOMPSON et al. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. The Royal Society, v.364, n.1526, 2009.

VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI**. 3. ed. Rio de Janeiro: garamond, 2008. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> . Acesso em: acesso em: 27 jun. 2018.

WASTE MANAGEMENT. **Recycling Facts and Tips**. 2019. Disponível em: <http://www.wm.com/location/california/north-valley/willows/facts.jsp>. Acesso em 28 de set. 2019.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT - WBCSD. **Towards a sustainable paper cycle**, Genebra, Suíça il., 31p., 2014.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. 2.ed. São Carlos: EdUFSCar, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=rsixdqaqbaj&printsec=frontcover&hl=pt-br#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 08 jul. 2018.