

## PROPOSTA PARA LOCALIZAÇÃO OTIMIZADA DE ECOPONTO

Luciana da Silva (Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo – UPF/RS) Email: lucianadasilva.pf@hotmail.com

Fernando Cuenca Rojas (Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo – UPF/RS) Email: cuencaferrojas@hotmail.com

Moacir Kripka (Professor Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Passo Fundo – UPF/RS) Email: mkripka@upf.br

**Resumo:** Com o crescente aumento do consumo pela população mundial e consequente elevação da produção de resíduos sólidos pós-consumo, principalmente, nos centros urbanos, surge maior necessidade de alternativas para a destinação final e gerenciamento destes. Assim, o problema da gestão dos resíduos sólidos torna-se um grande desafio para os municípios, e a logística reversa de materiais torna-se de vital importância para sustentabilidade nas cidades. Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo principal propor a localização otimizada de um Ecoponto para recebimento voluntário de materiais recicláveis, em um bairro do Município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Com a finalidade descrita, o problema foi abordado através do método matemático de modelo gravitacional baseado na distância, buscando a minimização da distância média a partir das escolas da região selecionada. Os resultados obtidos com base nos estudos realizados evidenciaram a viabilidade técnica, socioeconômica e ambiental para a instalação do Ecoponto na localização determinada para coleta e posterior reciclagem dos resíduos, o que pode contribuir para a atual necessidade de sistema de gestão sustentável na administração pública.

**Palavras-chave:** Localização, Otimização, Ecoponto, Logística Reversa, Resíduos Sólidos.

## PROPOSAL FOR LOCATION OF OPTIMIZED ECOPOINT

**Abstract:** With the increasing consumption by the world's population and consequent elevation in the production of post-consumer waste, mainly in urban centers, there is a greater need for alternatives to disposal and management of these waste. Thus, the problem of solid waste management becomes a challenge for municipalities, and reverse logistics materials becomes vitally important for sustainability in cities. In this context, this article aims to propose the optimal location of a collection point (“Ecopoint”) to volunteer receiving recyclable materials in a neighborhood of the city of Passo Fundo, state of Rio Grande do Sul. With the purpose described, the problem has been addressed by the method gravity model based on mathematical distance, seeking to minimize the average distance from the schools of the selected region. The results obtained based on the studies showed technical, socio-economic and environmental viability for installing the collectors at the specific location, which may contribute to the current need for sustainable management in public administration.

**Keywords:** Location, Optimization, Ecopoint, Reverse Logistics, Solid Waste.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o aumento na geração de resíduos sólidos é um problema para a sociedade e encontrar formas para o seu equacionamento e disposição ambientalmente segura é um dos maiores desafios da atualidade. Decorrente do desenvolvimento tecnológico e econômico das maiores concentrações das populações nas áreas urbanas, envolvem os padrões de consumo acima da capacidade dos recursos naturais. Nesse sentido, todos os envolvidos, gestores

públicos, empresários, imprensa, consumidores, precisam colocar em prática um programa de desenvolvimento sustentável com responsabilidade compartilhada.

No Brasil, recentemente, os órgãos públicos e privados, vem discutindo e buscando alternativas que propiciem a redução na geração de resíduos, como a reciclagem e reaproveitamento dos resíduos sólidos, acordos setoriais para implantação da logística reversa e educação ambiental.

Diariamente, são gerados milhares de toneladas (cerca de 170.000 toneladas) de resíduos sólidos nos 5.565 Municípios do Brasil. O volume de resíduos sólidos gerados é um dos grandes desafios para que as prefeituras municipais consigam uma gestão eficiente.

Existem críticas quanto à necessidade de se melhorar a logística reversa, no sentido de que a responsabilidade de fabricantes e distribuidores seja aumentada e ampliada, não somente porque estes decidem o tipo de embalagem utilizada para os produtos, mas porque a lista destes ainda está limitada ou restrita a alguns itens.

Reconhece-se, contudo, que não é economicamente viável o recolhimento pelas empresas produtoras, em domicílio, de grandes volumes de resíduos, tais como papéis, vidros, plásticos e metais. Para minimizar o problema da destinação de resíduos sólidos, vários municípios em todo o mundo estão criando os chamados “Ecopontos”, locais em que a população pode descartar determinada quantidade de entulho e resíduos sólidos.

Neste contexto, o presente artigo tem como objetivo principal propor a localização otimizada de um Ecoponto para recebimento voluntário de materiais recicláveis, em um bairro do Município de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Com a finalidade descrita, o problema foi abordado através do método matemático de modelo gravitacional baseado na distância, buscando a minimização da distância média a partir das escolas da região selecionada.

A estrutura do trabalho proposto é a seguinte: inicialmente é apresentada a contextualização da problemática dos resíduos sólidos urbanos, da logística reversa e apresentada a cidade estudada. A seguir é apresentado o modelo proposto, o problema real no qual o modelo foi aplicado e na sequência demonstrado o resultado obtido e realizadas as considerações finais.

## 2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

O Brasil possui uma das mais avançadas legislações a respeito de meio ambiente, tendo participado das mais recentes investidas das Organizações das Nações Unidas (ONU) sobre o meio ambiente, como a ECO92, realizada na cidade do Rio de Janeiro, e da Eco92+10, realizada na África do Sul, em 2002. Além disso, sediou a Conferência Rio+20, em 2012, marcando o 20º aniversário da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED) (RESCH et al., 2012).

Recentemente, dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) revelam que, em 2012, foram gerados no Brasil aproximadamente 63 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos e, destes, 6,2 milhões deixaram de ser coletados e, certamente, tiveram destino impróprio.

De modo geral, a produção de resíduos sólidos *per capita* tem aumentado a cada ano, o que demonstra que o Brasil ainda não adotou medidas de minimização na geração de resíduos. Entretanto, os referidos dados mostram que a abrangência dos serviços de coleta, em 2012, aumentou mais que a geração de resíduos, pois, enquanto o índice de geração *per capita* cresceu 0,8%, a quantidade coletada aumentou 1,9%.

Com o acréscimo da população, da industrialização, do consumo de produtos industrializados e do uso frequente de embalagens descartáveis e de difícil degradação no ambiente, o volume de resíduos sólidos tem aumentado substancialmente, mais que o crescimento da população. Além disso, a falta de cuidado e a má disposição destes resíduos tem causado um impacto ambiental severo (SANTAELLA, 2014).

O histórico da legislação brasileira mostra que a preocupação do poder público com o ambiente foi, primeiramente, voltada para questões sanitárias. Somente em um momento posterior foi encarada quanto aos aspectos ecológicos e de preservação ambiental.

Assim, não só o cidadão consumidor deve mudar sua atitude (iniciativa domiciliar) ao lidar com os resíduos sólidos, como também o empresário do ramo industrial, do comércio e da distribuição de produtos, bem como o setor público (órgãos governamentais federal, estadual e municipal). Todos precisam estar integrados nos planos de gestão integrada e ações, que devem estar discriminados nas esferas nacional, estaduais e municipais, atendendo às diretrizes, princípios e metas da atual Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), no Brasil.

Conforme o Estatuto das Cidades (Lei Federal nº 10.257/01), o direito a cidades sustentáveis (moradia, saneamento ambiental, infraestrutura urbana e serviços públicos) é diretriz fundamental da Política Urbana a ser assegurada mediante o planejamento e a articulação das diversas ações no nível local (MC – SNSA, 2011) (PMSB, 2014).

Entretanto, o Brasil destaca-se no cenário mundial com índices de reciclagem expressivos para: alumínio, papel, plástico e vidro. Índices estes que podem ser melhorados com a regulamentação da PNRS, tendo em vista a preconizada responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e os incentivos financeiros previstos para o incremento da reciclagem.

O ponto de partida para a solução da gestão ambiental referente aos resíduos sólidos é seguir a regulamentação da PNRS. Esta Lei representa um marco na preservação ambiental, contribuindo decisivamente para o aprofundamento e evolução da Política Nacional de Meio Ambiente.

## **2.2 Logística Reversa**

Um dos aspectos bastante discutido da PNRS é o princípio da logística reversa para a recuperação do resíduo. Segundo ele, a aceitação (recolhimento ou remuneração ao agente que recolher) do retorno de embalagens e resíduos de agrotóxicos, óleos lubrificantes, pilhas, baterias, pneus, lâmpadas fluorescentes e embalagens de eletroeletrônicos são de responsabilidade dos fabricantes. Neste aspecto, percebe-se que há uma cadeia de interesses, etapas e processos na gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos até que estes tenham um destino correto e aceitável.

A Lei nº 12.305/2010 dedicou especial atenção à logística reversa e definiu três diferentes instrumentos que poderão ser usados para a sua implantação: regulamento, acordo setorial e termo de compromisso. O acordo setorial é um "ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos".

O Decreto Nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamentou a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ratificou a relevância dada à logística reversa e criou o Comitê Orientador para a Implantação de Sistemas de Logística Reversa. Por permitir grande participação social, o Acordo Setorial tem sido escolhido pelo Comitê Orientador, desde sua instalação em

17/02/2011, como o instrumento preferencial para a implantação da logística reversa (SINIR, 2015).

Para estudar e buscar soluções de modelagem e governança para cada uma das cadeias de produtos escolhidas como prioritárias pelo COMITÊ ORIENTADOR foi criado cinco Grupos de Trabalho Temáticos – GTTs:

- embalagens plásticas de óleos lubrificantes;
- lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- produtos eletroeletrônicos e seus componentes;
- embalagens em geral; e
- resíduos de medicamentos e suas embalagens.

Todos os grupos já concluíram seus trabalhos. A situação da implantação da logística reversa dessas cadeias atualmente está mostrada na Figura 1.

Mas, existem cadeias que já possuem sistemas de logística reversa implantados, anteriormente à Lei nº 12.305/2010, por meio de outras tratativas legais nas quais podem ser citadas: pneus, embalagens de agrotóxicos, óleo lubrificante usado ou contaminado (Oluc) e pilhas e baterias (SINIR, 2015).

Os dados aqui apresentados mostram que o Brasil tem mudado positivamente em termos de coleta e disposição final de resíduos sólidos urbanos, com tendência à universalização desses serviços, a qual só será alcançada com o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. (SANTAELLA, 2014).

No Brasil, em 2012, 59,7% dos Municípios possuíam alguma iniciativa de coleta seletiva, embora muitas vezes estas iniciativas consistissem apenas em disponibilizar pontos de entrega voluntária à população, ou em formalizar convênios com cooperativas de catadores (ABRELPE, 2012).

Figura 1: Sistemas de Logística Reversa em Implantação, no Brasil em 2015.

SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA EM IMPLANTAÇÃO	
Cadeias	Status atual
Embalagens Plásticas de Óleos Lubrificantes.	Acordo setorial assinado em 19/12/2012 e publicado em 07/02/2013.
Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista.	Duas propostas de acordo setorial recebidas em novembro de 2012. Proposta unificada recebida em 2013. Consulta Pública finalizada ( <a href="http://www.governoeletronico.gov.br">www.governoeletronico.gov.br</a> ). Acordo setorial assinado em 27/11/2014. Publicado em 12/03/2015.
Embalagens em Geral.	Quatro propostas de acordo setorial recebidas entre dezembro de 2012 e janeiro de 2013, sendo três consideradas válidas para negociação. Consulta Pública da proposta da Coaizão finalizada ( <a href="http://www.governoeletronico.gov.br">www.governoeletronico.gov.br</a> ). Em análise.
Produtos Eletroeletrônicos e seus Componentes.	Dez propostas de acordo setorial recebidas até junho de 2013, sendo 4 consideradas válidas para negociação. Proposta unificada recebida em janeiro de 2014. Em negociação. Próxima etapa - Consulta Pública.
Descarte de Medicamentos.	Três propostas de acordo setorial recebidas até abril de 2014. Em negociação. Próxima etapa - Consulta Pública.

Fonte: <http://sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa> - Atualizada em 13/03/2015.

### 2.3 Ecopontos

Os Ecopontos são contentores, ou alojamento provisório para a coleta seletiva de um produto a ser reciclado, de forma a proteger o meio ambiente, esta rede de distribuição tornar-se-á responsável pela alocação e armazenamento, até obtenção de um volume apropriado para busca por parte da Reverse, aliando assim, a comodidade de seus clientes em identificar locais de disposição de seus resíduos à praticidade da Reverse em transportar um maior volume de

material, na busca dos mesmos, e conseqüentemente reduzir os custos de transporte na coleta destes containeres.

Os Ecopontos podem ser criados, seguindo a ideia transcrita na Lei Federal Nº. 12.305/2010, em que define os acordos setoriais como uma alternativa de implementação de logística reversa para os mais diversos materiais. Este acordo setorial poderá ser realizado entre a Reverse e a rede de distribuição desejada, em que, a proposta central da Reverse a esta rede parceira, pode ser a aquisição por parte da parceira, a um percentual do valor cobrado de seus clientes por quilograma de material estocado nas dependências desta rede de distribuição.

Haja visto que qualquer acordo setorial entre duas ou mais organizações devem ser elaborado obtendo certa vantagem para ambas as instituições envolvidas, tanto mercadológico, como financeiro, a empresa que desejar destinar seus resíduos de forma ambientalmente adequada, utilizando a Reverse como meio apropriado para tal ação, poderá identificar os Ecoponto através de um Logotipo simples, presente na Rede de Distribuição parceira que servirá como ponto de coleta, como por exemplo, o representado na Figura 2.

Figura 2. Modelo de Ecoponto, em aço.



Fonte: <http://www.encontradiadema.com/diadema/ecoponto-diadema.shtml>

Quando se fala em sustentabilidade, a Suécia está sempre entre os países com maior destaque em todo o mundo. A nação escandinava dá exemplo em diversos setores, um deles é no manejo de resíduos. Apenas 1% do lixo produzido pelos suecos vai para lixões, o restante é reciclado, reutilizado ou transformado em energia renovável (Figura 3).

O sucesso do modelo sueco é fruto de um trabalho de décadas. Desde 1970 o país possui leis de logística reversa e a reciclagem se faz presente em todos os setores. Todas as empresas e pessoas são obrigadas a separarem adequadamente seu lixo e os fabricantes precisam se responsabilizar pela recolha dos resíduos pós-consumo originados por seus produtos.

Uma das principais razões para que o sistema funcione está na forma como as autoridades locais encaram o problema. “Os resíduos hoje são uma mercadoria diferente do que tem sido. Eles não são apenas lixo, são um negócio”, explica Anna Carin Gripwell, diretora de comunicação da empresa nacional de gestão de resíduos da Suécia. A medida resolve dois grandes problemas de uma só vez: a falta de espaço para o descarte de resíduos e a energia. Antes de o lixo ser incinerado, tudo o que pode ser reciclado é reaproveitado. Apenas o que sobra é destinado para a produção de energia (CICLOVIVO, 2015).

Figura 3 – Ecopontos da cidade de Zurich - Suíça



Fonte: [http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/conteudo\\_467362.shtml](http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/conteudo_467362.shtml)

No Brasil, várias cidades já adotaram os Ecopontos, como por exemplo a cidade de São Paulo-SP, Campinas-SP, Indaiatuba-SP, Rio de Janeiro-RJ, Vitória-ES, Curitiba-PR, Florianópolis-SC e Porto Alegre-RS (RESCH, 2012).

Recentemente, em Curitiba-PR, foram criadas as Estações de Sustentabilidade, conforme a Figura 4, onde a Prefeitura Municipal troca materiais recicláveis por recompensas. O sistema possui um leitor de cartão transporte que permitirá identificar usuários e premiar os mais assíduos na entrega voluntária de lixo. A nova unidade é resultado de uma PPP (Parceria Público-Privada) entre a Prefeitura e a Volvo do Brasil.

As Estações de Sustentabilidade foram concebidas para envolver os cidadãos na gestão dos resíduos sólidos e aperfeiçoar a coleta seletiva, já que possuem divisórias para receber diferentes tipos de materiais. Isso garante um aproveitamento muito maior dos resíduos. A estação de sustentabilidade é considerada um sucesso, pois o aproveitamento do material coletado nesses equipamentos é de 98%, enquanto que nos caminhões do Lixo que não é Lixo o percentual chega a 60%, ou seja, 40% do material coletado não pode ser aproveitado e tem que ser encaminhado para o aterro sanitário.

Além disso, as estações representam um mecanismo de inclusão social, ao delegar a administração dos resíduos para associações de catadores. A Estação Sustentabilidade está apta a receber 12 tipos de materiais recicláveis, como vidro, papel, papelão, embalagem longa vida, plásticos, rótulos, tampas e garrafas PET, além de latas de alumínio e outros metais (CICLOVIVO, 2015).

Figura 4. Estação de Sustentabilidade em Curitiba, recebe 12 tipos de materiais recicláveis.



Fonte: Foto Prefeitura de Curitiba

Entretanto, após levantamento teórico nos principais periódicos nacionais, observou-se que não há publicações científicas no contexto brasileiro que tratem dos Ecopontos. Tendo em vista a importância da logística reversa de produtos pós-consumo e do descarte adequado de materiais inservíveis, justifica-se a necessidade de estudos que busquem compreender as políticas públicas que estão sendo implementadas para diminuir a problemática dos resíduos sólidos (RESCH et al., 2012).

Por outro lado, a formação de recursos humanos aliada à produção de material didático contribui para a constante evolução da área de Resíduos Sólidos. O consequente aprofundamento e profissionalismo auxiliam na tomada de decisão quando da implantação de práticas para seu gerenciamento (SANTAELLA, 2014).

Os Resíduos Sólidos são um dos pilares do Saneamento Básico, cuja importância passou a ser definitiva com a Lei nº 12.305, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada no dia 02 de agosto de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro do mesmo ano. Essa legislação é de suma importância por contemplar a obrigatoriedade de cada Município apresentar o seu Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

O município de Passo Fundo, objeto deste estudo, ainda não possui plano diretor de resíduos sólidos, mas possui a Lei 4.969 de 2013, a qual institui a política municipal de resíduos sólidos de Passo Fundo e dá outras providências. Em 2014, foi elaborado o Plano Municipal de Saneamento Básico, que sugere a instalação de Ecopontos para coleta de resíduos.

Um dos problemas que o município enfrenta é a destinação dos resíduos sólidos. Como no município ainda não tem 100% de coleta seletiva, nos containers frequentemente, são encontrados vários tipos de resíduos misturados de forma incorreta, como lata de tintas, etc, conforme mostra a Figura 5.

Desde o ano de 2007, um conjunto de entidades desenvolve o Projeto Transformação, que trabalha na área da defesa do meio ambiente e reciclagem, 600 através de diferentes programas, dentre eles o Associativismo e Cooperativismo. Este projeto presta assistência às seguintes associações: RECIBELA (Associação de Recicladores Parque Bela Vista), AAMA (Associação dos Amigos do Meio Ambiente), COOTRAEMPO (Cooperativa Mista de Produção e Trabalho dos Empreendedores Populares da Santa Marta Ltda) e AREVI (Associação de recicladores Esperança da Vitória).

Segundo um levantamento realizado pelos assistentes sociais da Secretaria da Cidadania e Assistência Social (SEMCAS) em 2005, estimou-se que existiam aproximadamente 1.500 catadores de recicláveis na cidade. Em torno de 97% destes catadores trabalham de forma autônoma e apenas 3% trabalham, de fato, em organizações (PMSB, 2014).

Figura 5 – Disposição incorreta de resíduos em contêiner destinado aos resíduos orgânicos



Fonte – Plano Municipal de Saneamento Básico de Passo Fundo (2013).

Os dados expostos, identificam a necessidade de iniciar o mais breve possível a implantação das diretrizes do PMSB (2014) de Educação Ambiental e Criação de Pontos de Entrega Voluntária de Resíduos Especiais como pilhas, baterias, lâmpadas, etc, (Ecopontos), juntamente com a elaboração de um plano de gerenciamento de resíduos domiciliares gerados no município, priorizando alternativas de segregação, tratamento e valorização.

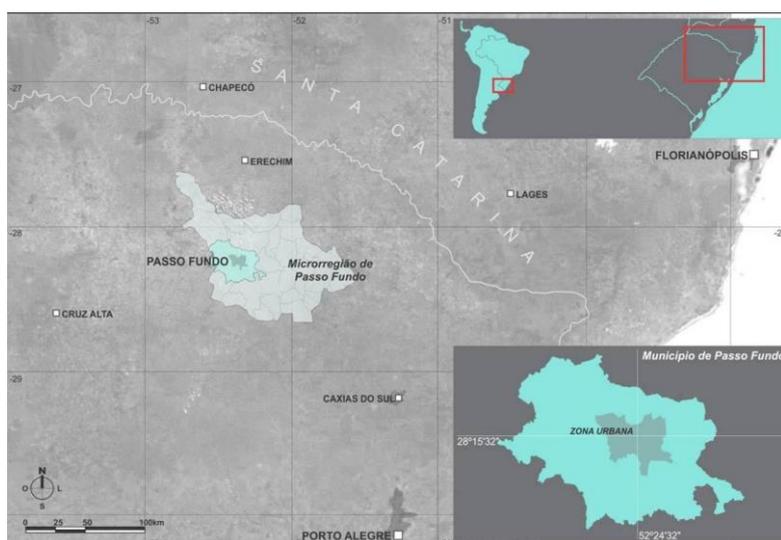
## 2.4 Município de Passo Fundo

O município de Passo Fundo, considerado de médio porte, localizado ao norte do Estado do Rio Grande do Sul, Região Sul do Brasil, sua sede urbana é a maior cidade da região norte do estado, distando 289 km da capital Porto Alegre (Figura 6).

Em 2013 o território municipal abrange uma área de 783,421 km<sup>2</sup> correspondendo a aproximadamente 0,27% do território estadual. Com uma população de 184.826 habitantes, apresenta uma densidade demográfica de 235,9 hab./km<sup>2</sup>, e uma taxa de urbanização de 97,5% (IBGE, 2010).

Atualmente o território do município encontra-se dividido entre zona rural e urbana, sendo que dentro destas zonas existem outras subdivisões: a zona rural se divide em distritos, e a zona urbana em setores.

Figura 6 – Localização do município de Passo Fundo



Fonte – IBGE, DNIT e Dados Cartográficos do Google.

Elaboração: Plano Municipal de Saneamento Básico de Passo Fundo.

A partir do ano de 2005, a Prefeitura Municipal de Passo Fundo (PMPF), por meio da lei complementar nº 143, de 25 de junho, artigos 2º e 5º, oficializou a divisão territorial da cidade em 22 setores urbanos, os quais, individualmente, podem compreender bairros, vilas e loteamentos agrupados em um mesmo setor (PMSB, 2014).

A zona urbana encontra-se dividida em 22 setores urbanos, sendo que a seguinte delimitação territorial dos setores foi estabelecida pelos critérios descritos no artigo 2º da lei complementar nº 143, de 25 de junho de 2005, o qual estabelece que:

“A delimitação dos limites territoriais dos Bairros, Vilas e Loteamentos do Município de Passo Fundo, levará em conta as características históricas, culturais e sociais de cada comunidade, respeitando ainda os limites do perímetro urbano, os eixos viários das rodovias e ferrovias, bem como imposições naturais de caráter geográfico tais como rios, sangas e demais cursos d’água e desníveis acentuados, observado, ainda, as disposições desta lei e as legislações federal e estadual pertinentes (PASSO FUNDO, 2005).”

A descrição que segue, relativa aos setores urbanos segundo suas características, foi baseada na caracterização dos setores, presente no Atlas Geográfico de Passo Fundo. Essa caracterização destaca, sobretudo, aspectos demográficos, econômicos, físico-territoriais e da estrutura urbana própria de cada setor, sendo complementada pelo Quadro 1 e pelo mapa da Figura 7.

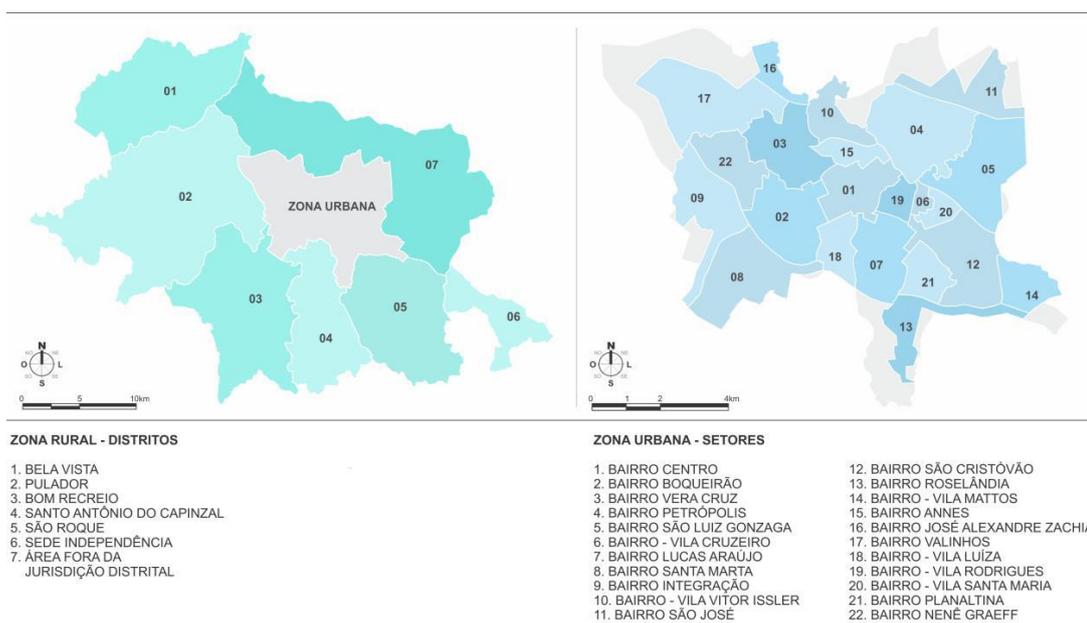
Quadro 1. Setores urbanos: denominação, abrangência, área territorial e população - 2010

SETOR	DENOMINAÇÃO DO SETOR/BAIRRO	ABRANGÊNCIA (BAIRROS, VILAS, LOTEAMENTOS)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	POPULAÇÃO (habitantes)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (habitantes/km <sup>2</sup> )
12	SÃO CRISTÓVÃO	São Cristóvão/ Bairro Ricci/ Jardim André Rebechi/Bairro Copacabana/ Loteamento Cezar Santos/ Loteamento São Cristóvão II / Loteamento Via Sul/ Loteamento Santo Antônio	5,04	11.154	2213,10

Fonte: IBGE Censo 2010, PDDI Passo Fundo 2006.

Elaboração: Plano Municipal de Saneamento Básico – Passo Fundo – 2014

Figura 7. Mapa da delimitação territorial e subdivisões do município de Passo Fundo

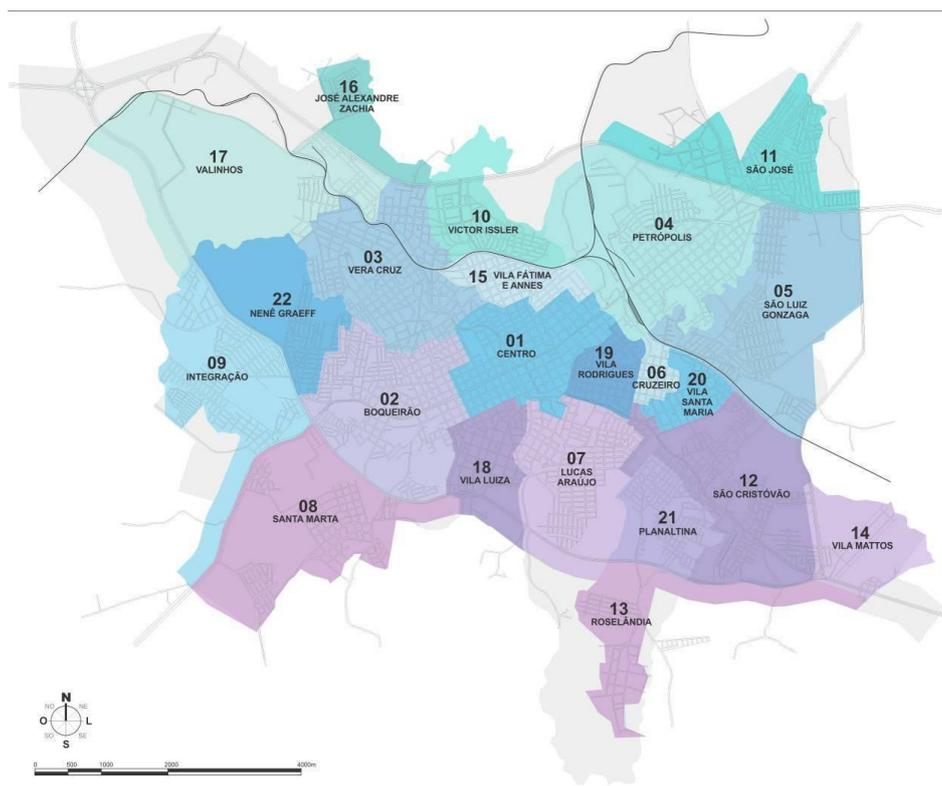


Fonte: Seplan – IBGE

Elaboração: Plano Municipal de Saneamento Básico – Passo Fundo – 2014.

Constata-se pela divisão dos setores que o setor 12, corresponde ao bairro São Cristóvão, a ser considerado como objeto deste estudo conforme a Figura 8.

Figura 8. Mapa dos setores urbanos do município de Passo Fundo



Fonte: Lei Municipal nº 143/2005

Elaboração: Plano Municipal de Saneamento Básico – Passo Fundo – 2014

O destaque no bairro é para a Avenida Presidente Vargas que tem início no Centro e corta o setor, funcionando como eixo de intenso fluxo e concentrador da atividade econômica da região, constituindo-se um dos subcentros urbanos; além da comunicação centro-bairro essa avenida liga-se com a Perimetral 55 Leste e com a RS 324, saída para o município de Marau (PMSB, 2014).

Localizam-se ainda, no setor o Quartel da Brigada Militar, o Instituto Estadual Cecy Leite Costa e o estádio de futebol do Esporte Clube Passo Fundo. Caracterizado, ainda pela concentração de vazios urbanos no entorno da Perimetral Leste, fato este que potencializa o setor como área de expansão urbana. Em 2010 contava com uma população de 11.154 habitantes e uma densidade demográfica de 2.213,10 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

### 3. METODOLOGIA EMPREGADA

Para o desenvolvimento desta proposta, foi formulada matematicamente a resolução do problema de locação de facilidades, neste caso, a locação de um Ecoponto para atender o setor 12, também denominado Bairro São Cristóvão, no município de Passo Fundo-RS.

Os problemas que envolvem a localização de facilidades podem ser categorizados de diversas formas, dentre as quais se destaca a classificação com relação ao conjunto de pontos elegíveis para a localização de facilidades. Nesta categoria, o espaço de soluções é limitado e as facilidades só podem ser localizadas em pontos previamente escolhidos (BANDEIRA, 2006).

Neste estudo, partiu-se da delimitação geográfica do bairro, escolhendo-se como pontos previamente determinados de referência como sendo a unidade básica de saúde e as escolas existentes no bairro. A partir da localização da unidade básica de saúde e das 04 (quatro) escolas, foram determinadas as coordenadas geográficas das mesmas, através do Google Earth. (Tabela 1).

A partir dessas coordenadas, aplicou-se o modelo matemático para encontrar a localização do ponto ótimo para instalação de um Ecoponto, que permita fácil acesso, tenha condições de receber os materiais recicláveis, atendendo as necessidades somente da população do referido bairro.

Tabela 1. Coordenadas das Escolas do Bairro São Cristóvão no município de Passo Fundo

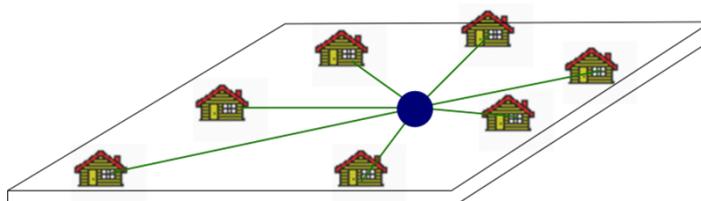
Escola	Coordenada x	Coordenada y
<b>Escola 1</b> Instituto Estadual Cecy Leite Costa Avenida Presidente Vargas, 1275, São Cristóvão, Passo Fundo, RS.	363744.59 m E	6872196.20 m S
<b>Escola 2</b> Sc Estadual Ensino Fundamental Jerônimo Coelho Rua Riachuelo, 375, São Cristóvão, Passo Fundo, RS	364202.12 m E	6871580.48 m S
<b>Escola 3</b> Escola Municipal Wolmar Salton Rua Claudino Toldo, 155, São Cristóvão, Passo Fundo, RS	365441.43 m E	6870803.16 m S
<b>Escola 4</b> Escola Ensino Fundamental Romana Gobbi Rua Roberto Silverio, 130, Santo Antônio, Passo Fundo, RS	365102.35 m E	6870113.68 m S

Fonte: Elaborada pelos autores (2015)

No modelo matemático adotado, as formulações foram baseadas no método proposto por Weber para modelos de localização ou otimização da rede. Neste caso, adotada a técnica de programação matemática empregadas para os problemas de localização no plano aplicados a uma única instalação (facilidade) – modelos gravitacionais.

No modelo gravitacional, determina-se a posição ideal para a facilidade, como pontos em um plano (Figura 9), com base na distância, no peso ou na combinação de ambos. Neste caso, adotado somente a distância.

Figura 9. Localização de Facilidades no Plano



Fonte: Desafios aplicados em localização  
Disponível em: [w3.ufsm.br/42sbpo/material/SBPO\\_2010\\_final.ppt](http://w3.ufsm.br/42sbpo/material/SBPO_2010_final.ppt)

### 3.1 Problema de localização de facilidade (Problema de Weber)

Os problemas de localização de facilidade são problemas clássicos de pesquisa operacional. Estes problemas envolvem a determinação da localização de um ou mais serviços que facilitem o suprimento ótimo de um dado conjunto de destinos de demanda. Existem diversas categorias para o problema de localização, tais como: (i) pela força propulsora, (ii) pelo número de facilidades, (iii) pela discretização das escolhas, (iv) pelo grau de agregação de dados, e (v) pelo horizonte de tempo. A localização de facilidades é um problema que existe no setor privado tal como a localização de plantas, warehouse, fábricas, e no setor público, por exemplo, hospitais, centros de tratamento da saúde, estações de polícia, centros de distribuição de água, entre outros (COELHO, 2003).

O economista alemão Alfred Weber (1909) publicou o livro *Theory of location of industries* (versão em inglês de 1929) sobre a localização de indústrias que dependiam da interação entre uma ou diversas funções objetivo, demandas e facilidades. Contudo, somente nos últimos 30 anos é que esta área de pesquisa tem sido explorada. O problema de Weber é um problema clássico na análise de localização que visa encontrar a localização de um ponto de suprimento ou facilidade central que possa ser “bom” para diversos pontos de demanda (isto é, cidades) com o menor custo possível de transporte. Neste contexto, o custo total associado com a distribuição para diversos centros de demanda é minimizado. O modelo matemático enfoca que o custo é proporcional à distância até a facilidade.

A constante de proporcionalidade pode refletir custos de transporte positivo, ou seja, um custo associado a presença de benefícios, ou negativo quando reflete a presença de restrições ambientais. No problema de Weber é suposto que existem “N” locais de demanda com coordenadas de localização  $\{z_i\} \subset \mathbb{R}^2$ . As ponderações correspondentes a quantidade de demanda são atribuídas a variável  $\{w_i\}$  e a função objetivo é a minimização da função,

$$f(x) = \sum_{i=1}^N w_i \|x - z_i\| = \sum_{i=1}^N w_i \sqrt{[x_d - (z_i)_1]^2 + [y_d - (z_i)_2]^2}$$

Onde:

$\{d\} = \{x_d, y_d\}$  são as variáveis de projeto do método de minimização. No caso de assumir-se que

$\sum_{i=1}^N w_i > 0$ , um mínimo global existe. Se  $\sum_{i=1}^N w_i < 0$  então,  $\inf f = -\infty$  e não existe um mínimo global. Nas próximas subseções é apresentado um estudo de caso do problema de Weber utilizado para análise do modelo gravitacional para minimização de distancias relativo a um ponto de origem.

#### 3.1.1 Modelo Gravitacional de Weber baseado na Distância

Obtido a localização do ponto onde o custo é mínimo, através da iteração dos três passos a seguir, onde  $(x,y)$  é a posição inicial de cada iteração:

1 – Para cada facilidade n, calculam-se as distâncias  $d_n$  como a distância geométrica entre os dois pontos do plano:

$$d_n = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2}$$

2 – Obtém-se então uma nova localidade (x',y'), para a instalação, onde:

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad y' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$$

3 – O problema da localização é resolvido quando as alteração incrementais entre (x',y'), e (x,y) se situam numa tolerância aceitável. Assim, este será o ponto ótimo. Caso contrário, deve-se determinar que (x,y)=(x',y') e retornar a etapa 1.

#### 4. APLICAÇÃO DO MODELO NO PROBLEMA REAL

Partindo de um ponto inicial de referência, neste caso, adotada a Unidade de Saúde Básica (USB), João Vieira, localizada no bairro São Cristóvão, na coordenada (x=365404; y= 6870433), para buscar o ponto ótimo, utilizando o estudo de caso de Weber na subseção 3.1.1, e utilizando a ferramenta planilha eletrônica do programa computacional Excel, foram realizadas 118 iterações para obter o ponto ótimo entre as 04 (quatro) escolas para a distância mínima, conforme demonstrado nas Figura 10 e Figura 11.

Figura 10. Primeira Iteração Solver para o método Weber

1 ra Iteração					
Dado de partida	x	y	Dados		Formulas: $d_n = \sqrt{(x-x_n)^2 + (y-y_n)^2}$ $x' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$ $y' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$
Ponto de Iteração	365404	6870433	Pontos Escolas	xi yi	
			Escola 1	363744.59 6872196.2	
			Escola 2	364202.12 6871580.48	
			Escola 3	365441.43 6870803.16	
			Escola 4	365102.35 6870113.68	
Valores i			RESULTADO DO PONTO MAIS PROXIMO		
n=	4		x' =	365070.384	
d1=	2421.26		y' =	6870715.11	
d2=	1661.69				
d3=	372.05				
d4=	439.27				
dmin media=	1223.57				
Σd=	4894.27				
dist mínima					
d1=	1987.80				
d2=	1225.87				
d3=	381.35				
d4=	602.28				
dmin media=	1049.32				
Σd=	4197.30				

Fonte: 1ª Iteração, Planilha Excel criada pelos autores, 2015

Figura 11. Centésima Décima Oitava Iteração Solver para o método Weber

118					
Dado de partida	x	y	Dados		Formulas: $d_n = \sqrt{(x-x_n)^2 + (y-y_n)^2}$ $x' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$ $y' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}}$
Ponto de Iteração	364210.389	6871574.2	Pontos Escolas	xi yi	
			Escola 1	363744.59 6872196.2	
			Escola 2	364202.12 6871580.48	
			Escola 3	365441.43 6870803.16	
			Escola 4	365102.35 6870113.68	
Valores i			RESULTADO DO PONTO MAIS PROXIMO		
n=	4		x' =	364210.113	
d1=	777.08		y' =	6871574.41	
d2=	10.38				
d3=	1452.57				
d4=	1711.35				
dmin media=	987.85				
Σd=	3951.38				
dist mínima					
d1=	776.74				
d2=	10.03				
d3=	1452.92				
d4=	1711.67				
dmin media=	987.84				
Σd=	3951.37				

Fonte: 118ª Iteração, Planilha Excel criada pelos autores, 2015

Convergência do Método com a diferença percentual:

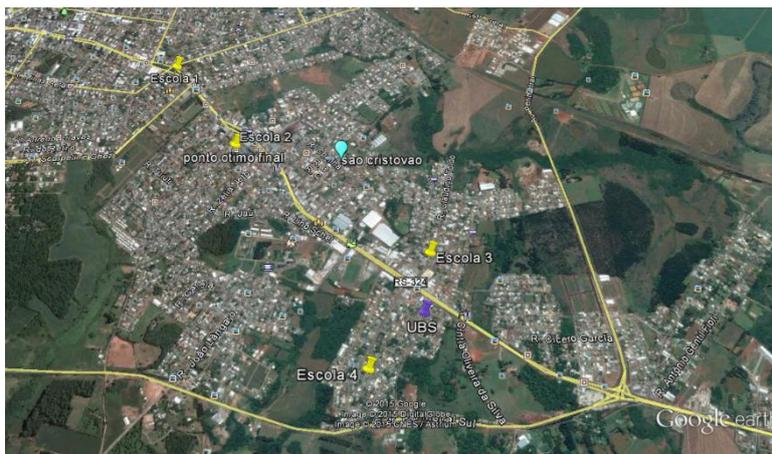
$$Dif\% = \frac{d_{inicial} - d_{final}}{d_{inicial}} \cdot 100\% \cong 0$$

1ra Iteração:  $Dif\% = \frac{1223.57 - 1049.32}{1223.57} \cdot 100\% = 14.24\%$

118va Iteração:  $Dif\% = \frac{987.85 - 987.84}{987.85} \cdot 100\% = 0.0003\% \cong 0$

A distância média sofreu alterações significativas entre a primeira iteração e a segunda teve uma diferença percentual de 14,24 % e posteriormente as diferenças percentuais estiveram na ordem de 0,8 a 0,1 %. Porém, a convergência do método chegou quando a diferença percentual foi de aproximadamente zero, chegando-se, portanto na 118ª iteração ao ponto ótimo para a locação do Ecoponto na coordenada (x=364210.11; y=6871574.41), conforme mostra a Figura 12.

Figura 12. Imagem via satélite dos pontos de referência



Fonte: Google Earth, 2015.

A posição da USB:

	Coordenada X	Coordenada Y
USB	365404	6870433

As posições das escolas são:

Dados		
Pontos Escolas	xi	Yi
Escola 1	363744.59	6872196.2
Escola 2	364202.12	6871580.48
Escola 3	365441.43	6870803.16
Escola 4	365102.35	6870113.68

O resultado na 118ª iteração foram:

d1 =	776.74
d2 =	10.03
d3 =	1452.92
d4 =	1711.67
dmin media=	987.84
$\Sigma d$ =	3951.37

Ponto ótimo para locação do ECOPONTO:

$x'$ =	364210.113
$y'$ =	6871574.41

Pela posição da coordenada do ponto ótimo, na Figura 13, constata-se que a localização ficaria perto da Escola 2, a Escola Estadual Ensino Fundamental Jerônimo Coelho, localizada na Rua Riachuelo, 375, no bairro São Cristóvão, próxima a região central do bairro, com o maior número de estabelecimentos comerciais e o maior fluxo de transeuntes.

Figura 13. Imagem via satélite do ponto ótimo



Fonte: Google Earth, 2015

Dessa forma, sendo uma posição excelente, pois permite o fácil acesso e visibilidade da população, das empresas coletoras e dos agentes municipais de fiscalização, enfim de todos os envolvidos na cadeia da logística reversa para o cumprimento da coleta seletiva e posterior reciclagem dos resíduos (Figura 14).

Figura 14. Imagem do Ponto Possível para o Ecoponto



Fonte: Google Earth, 2015

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por todo o exposto, é evidente a necessidade de se reduzir a produção e geração de resíduos sólidos, sua reutilização e a sua reciclagem. Para isso, é de extrema importância a mudança comportamental da população urbana. Essa mudança já começou a algumas décadas nos países mais desenvolvidos, onde foram criados, implantados e testados algumas das soluções que hoje estamos adotando em nosso país e em nossas cidades na busca de obtenção de sistemas de gerenciamento de resíduos adequados e ambientalmente adequados. Porém, conforme a maioria dos municípios brasileiros, o crescimento e desenvolvimento sustentável dos municípios ainda não estão totalmente alinhados para produzirem um município ambientalmente sustentável e socialmente justo.

Neste contexto, surge uma oportunidade de negócio e estudos mais avançados nesta área, uma vez que é possível através de técnicas e modelos matemáticos definir variáveis que podem auxiliar na tomada de decisão da administração municipal, como por exemplo, na locação de ecopontos. Sendo que estes estudos podem se estender em maior grau de complexidade e alcançar um nível mais detalhado de informações, como por exemplo na implantação de uma rede de ecopontos, espalhados pelo município, sendo um em cada bairro ou um ponto a cada raio de X km, conforme a demanda da população, utilizando para isso a adoção de formulações matemáticas e métodos de otimização para locação de facilidades.

Portanto, justifica-se a dedicação ao estudo do tema e ao incentivo para a continuidade na realização de pesquisas e experimentos na área, que possam contribuir para o avanço tecnológico, comprovando a viabilidade da reciclagem dos resíduos que atendam o desempenho técnico, econômico e socioambiental. Salientando-se a importância desta abordagem, com a utilização de ecopontos para coleta de materiais recicláveis, para minimizar o impacto ambiental e a demanda de recursos naturais e econômicos, requisitos para as novas políticas de gestão e cidades sustentáveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação do Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade de Passo Fundo e a Coordenação do Programa de Convênio de Estudantes Pec-PG (CNPq) pela concessão das bolsas de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello, 2006.** *Proposta de uma Sistemática de Análise para Localização de Depósitos*. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Transportes e Logística. POA. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7649/000550461.pdf>. Acessado em 24/05/2015.

**CICLOVIVO, Redação, 2015.** *Suécia reaproveita 99% dos resíduos que produz*. Ciclovivo – Plantando Notícias – Desenvolvimento. 22/04/2015. Disponível em: <http://ciclovivo.com.br/noticia/suecia-reaproveita-99-dos-residuos-que-produz>. Acessado em: 25/05/2015.

**CICLOVIVO, Redação, 2015.** *Prefeitura de Curitiba troca materiais recicláveis por recompensas*. Ciclovivo – Plantando Notícias – Cidadania. 19/05/2015. Disponível em: <http://ciclovivo.com.br/noticia/prefeitura-de-curitiba-troca-materiais-reciclaveis-por-recompensas>. Acessado em: 25/05/2015.

**COELHO, Leandro dos Santos; MARIANI, Viviana Cocco, 2003.** *Algoritmo Evolutivo Híbrido: Uma Heurística Promissora para o Problema de Localização de Facilidade*. XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção - Ouro Preto, MG, Brasil, 21 a 24 de out de 2003. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003\\_TR0609\\_1231.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2003_TR0609_1231.pdf). Acessado em 24/05/2015.

**PMSB, 2014.** *Plano Municipal de Saneamento Básico de Passo Fundo – Relatório do Diagnóstico-Produto 2*. Disponível em: <http://www.upf.br/pmsb/index.php>

**PIZZOLATO, Nelio Domingues; GANDOLPHO, André Alves, 2009.** *Técnicas de Otimização*. Editora LTC. 1ª Edição. 228p.

**RESCH, Sibelly; MATHEUS, Ricardo; FERREIRA, Meire de Fátima, 2012.** *Logística Reversa: O caso dos Ecopontos do Município de São Paulo*. Revista Eletrônica Gestão e Serviços. V.3, n.1, Jan/Jun. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-ims/index.php/REGS/article/view/3150/2921> Acessado em 23/05/2015.

**SANTAELLA et al., Sandra Tédde, 2014.** *Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira*. Fortaleza: UFC/LABOMAR/NAVE, 232 p. Coleção Habitat, v. 7. Disponível em: <http://bibweb.npd.ufc.br/pergamum/biblioteca/> Acessado em 23/05/2015.

**SINIR, 2015.** *Sistema Nacional de Informações sobre Gestão de Resíduos Sólidos*. Logística Reversa. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://sinir.gov.br/web/guest/logistica-reversa>. Acessado em 26/05/2015.