

Universidade Federal de São Carlos
DComp – Departamento de Computação de
Sorocaba

Relatório Técnico
DComp-TR-001/2014

Tecnologias e Sistemas de Suporte à Decisão como
apoio na Gestão de Resíduos Sólidos:
uma Revisão Sistemática

Angelina V. S. Melaré
Sahudy Montenegro González
Katti Faceli

Sorocaba-SP
Dezembro/2014

Tecnologias e Sistemas de Suporte à Decisão como apoio na Gestão de Resíduos Sólidos: uma Revisão Sistemática

Angelina V. S. Melaré^{1,2}, Sahudy Montenegro González², Katti Faceli²

¹Faculdade de Tecnologia de Itu- Fatec Itu, SP - Brasil

²Departamento de Computação/CCGT, Universidade Federal de São Carlos
Sorocaba, SP – Brasil - Sorocaba, SP – Brasil

angelinamelare@gmail,{sahudy, katti}@ufscar.br

Resumo. *O crescimento populacional aliado à migração da população para áreas urbanas e o desenvolvimento industrial criou um relação de consumo que gerou problemas relacionados ao meio ambiente, as questões sociais e econômicas. Com relação ao meio ambiente um preocupação crítica é a falta de controle e gestão adequada dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos. Entre os desafios, se encontram a gestão de coleta, tratamento e destinação adequada, com destaque para a gestão sustentável e adoção do conceito dos 3R (Redução, Reutilização e Reciclagem). Este Relatório Técnico realiza uma Revisão Sistemática que investiga as soluções adotadas pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento, para o problema ambiental da Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos com o emprego da Tecnologia da Informação e Comunicação e Pesquisa Operacional. Tais soluções podem ser propostas usando projetos ou implementações que englobem a área de Sistema de Apoio a Decisão. São predominantes nas publicações selecionadas tecnologias e sistemas integrados, como os Sistemas de Informação Geográfica, Identificação por Rádio Frequência, Métodos de Otimização (Fuzzy, Algoritmos Genéticos, Colônia de Formigas, Pesquisa Tabu, Redes Neurais, Programação Linear) e técnicas de Análise de Decisão Multicritério (AHP, ANP, Electre).*

1. Introdução

Uma das preocupações da sociedade do século XXI está concentrada nas questões relacionadas com a sustentabilidade e o desenvolvimento de uma sociedade sustentável, devido aos problemas ambientais gerados pelo desenvolvimento mundial [1] [2] [3] [114] [117]. O aumento da população mundial, aliada à sua migração para os centros urbanos e seu consumo, provocou uma exploração descontrolada dos recursos naturais, emissão de gases prejudiciais à saúde e o surgimento de diversos problemas ambientais, como mudanças climáticas (secas e inundações), extinção de espécies animais e vegetais, aumento da geração de resíduos sólidos, aumento de doenças, pobreza e mortalidade infantil [4][5] [6] [7].

As pesquisas e projetos em busca de solução para esses problemas são evidenciados na comunidade científica e em encontros mundiais como o da Conferências das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável Rio+20 [6] e em relatório, como o *The Millennium Development Goals Report*, da Organização das Nações Unidas (ONU) [7]. Segundo esse relatório, "a sustentabilidade ambiental significa usar os recursos naturais com sabedoria e proteção dos ecossistemas, essenciais para a nossa sobrevivência".

O relatório diz também que "a sustentabilidade não será alcançada com os padrões atuais de consumo e uso desses recursos".

Nesses encontros são definidos metas e princípios para se garantir a sustentabilidade ambiental, de forma que a população tenha padrão de vida decente sem comprometer as necessidades de gerações futuras [6]. Vários países estão comprometidos com esses princípios e com os acordos internacionais, incorporando-os em suas estratégias internas de desenvolvimento e legislação.

Segundo o tripé da sustentabilidade (formado pelos pilares econômicos, ambientais e sociais), o desempenho econômico de cada país deve levar em consideração o respeito e a valorização do meio ambiente e das pessoas, a responsabilidade social e a qualidade de vida da população [1] [2]. Na pesquisa de [5] foi feito um ranqueamento de sustentabilidade de 128 países, de acordo com um modelo criado usando Lógica *Fuzzy* e 75 indicadores de sustentabilidade, considerando a qualidade da água e do ar, a integridade do solo, a biodiversidade, os aspectos políticos e econômicos, a saúde e a educação.

Na RIO+20, a Gestão de Resíduos Sólidos foi um dos temas que estava dentre as nove dimensões eleitas para concentração de esforços da Coordenação de Sustentabilidade [6]. Esse tema, também, é destaque na comunidade científica, onde há artigos que descrevem os problemas operacionais, ambientais e econômicos dessa gestão.

Na comunidade científica são relatadas, em âmbito mundial, publicações que empregam as **Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs)** e métodos da **Pesquisa Operacional (PO)** para propor modelos e projetos relacionados à gestão dos resíduos.

As TICs são constituídas por tecnologias da informação e comunicação, onde há integração dos computadores com os softwares, com os dispositivos de armazenamento e audiovisuais e com as telecomunicações. Essas tecnologias aliadas aos métodos que auxiliam o processo de tomada de decisão, como os Métodos de Otimização (MO) e os Métodos de Análise Multicritério (AM), podem propiciar o desenvolvimento de soluções eficientes para auxiliar os gestores nas questões ambientais.

O gerenciamento de resíduos sólidos é complexo e engloba um conjunto de ações exercidas de forma direta ou indireta nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos [9]. Por exemplo, no Brasil foi desenvolvida uma ferramenta que auxilia na destinação adequada dos resíduos sólidos, visando programas de reciclagem. Essa ferramenta de geolocalização e georreferenciamento possibilita ao município encontrar o ponto de coleta de reciclável mais próximo do local que se encontra. Também permite traçar a rota do local de origem até o local de descarte, pesquisar locais por tipo de resíduo, destaca dentro de um raio de três quilômetros todos os pontos de descarte mais próximos e permite a disseminação das informações através das redes sociais [143].

Nesse Relatório serão apresentadas várias publicações com distintas abordagens na gestão dos resíduos, como das quais são citadas:

- Solução de monitoramento inteligente de caminhões e recipientes de resíduos sólidos, que adotam sistema integrado das tecnologias de RFID, GRPS, GPS, GIS e processamento de imagem.
- Método de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) e Processo Hierárquico Analítico (AHP) para a concepção e projeto de um equipamento elétrico-eletrônico, que

projeta toda a vida útil do produto e como será sua futura reciclagem.

- Sistema para detecção automática do nível dos recipientes de resíduos sólidos usando o algoritmo de aprendizado de máquina e técnicas de processamento de imagem.
- *Framework* que auxilia os gestores à tomada de decisão referente a definição dos locais e capacidades dos recipientes, fazendo uso de GIS.
- Modelo integrado cuja estratégia é a otimização da rota de coleta procurando uma forma de minimizar o consumo de combustível, usando o Algoritmo Genético, tecnologia GIS.

Nessa pesquisa será adotada uma revisão do estado da arte empregando uma metodologia científica, a revisão sistemática. A **Revisão Sistemática** é formalmente planejada e executada metodicamente, podendo ser replicada e continuada por outros pesquisadores [20]. Ela é uma técnica de levantar, avaliar criteriosamente, resumir e interpretar estudos relevantes disponíveis para uma questão de pesquisa em particular, um tópico da área, ou mesmo um fenômeno de interesse. O seu processo rigoroso e auditável conduz a uma avaliação justa sobre o tema pesquisado, diferente da tradicional que pode ser tendenciosa e pode excluir hipóteses contrárias às defendidas [21] [22].

O objetivo dessa Revisão Sistemática é investigar e identificar, dentro das TICs e PO, projetos, ferramentas, técnicas, métodos e modelos de Apoio à Decisão que contemplem a área de **Gestão de Resíduos Sólidos (GRS)**.

Essa revisão ainda investiga abordagens correlacionando as questões da Sustentabilidade (que engloba os GRS) e os Sistemas de Apoio à Decisão, analisando, resumindo e categorizando os trabalhos mais relevantes, que contenham uma proposta ou mesmo alternativas de soluções empregadas para esse problema ambiental.

Com o emprego da revisão sistemática se espera ter na etapa final desse processo um valor científico agregado à pesquisa. A Revisão está organizada em seções, iniciando com o Processo de Revisão Sistemática na Seção 2. A seguir na Seção 3 faz-se a Análise e Discussão dos Resultados e na Seção 4 é feita a Conclusão.

1.1. Contextualização da Gestão dos Resíduos Sólidos

O problema de resíduos sólidos é decorrente do aumento populacional. De 1960 a 2010 a população brasileira aumentou 172%, assim como houve o aumento da produção industrial. Para comprovar o aumento de consumo existe o indicador PIM (Produção Industrial Mensal) que tem entre seus indicadores a produção de autoveículos e o consumo de papel ondulado. Conforme pode ser observado na Figura 1, no mesmo período, a venda de autoveículos cresceu 2542% e de 1970 à 2010 o consumo de papel ondulado cresceu 1338% [4].

Aliada a esse consumo, houve a falta de planejamento e infraestrutura para a coleta, o tratamento e a destinação adequada dos resíduos gerados. Isso acarretou numa grande quantidade de resíduos jogados em áreas públicas e sem preparação do solo, como os vazadouros a céu aberto (lixões), rios e mesmo ruas. Essas áreas de destinação estão sofrendo mudanças devido às novas políticas públicas impostas pelos governos e das pressões de organizações nacionais e mundiais, como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a ONU [6][9] [10].

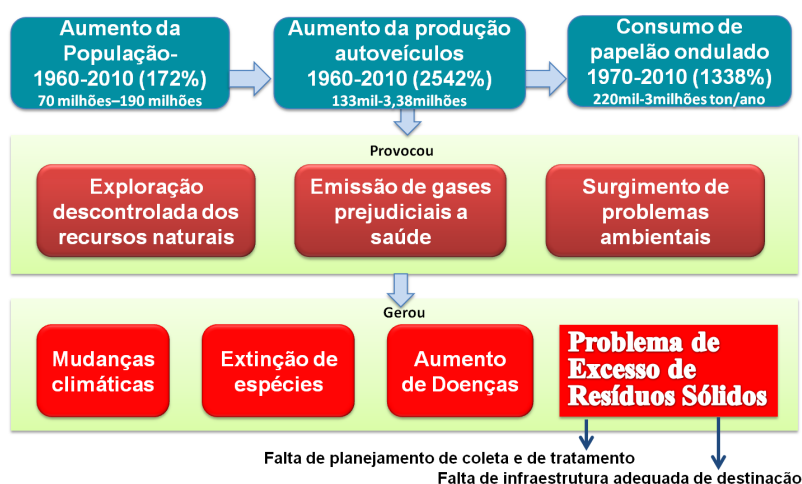


Figura 1. Geração do excesso de resíduos

Os **Resíduos Sólidos** são definidos no artigo 3º da Lei nº12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos no território nacional, como "todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível"[9].

No Artigo 13º há a classificação dos resíduos sólidos quanto a sua origem e periculosidade. Os resíduos domiciliares (os originários de atividades domésticas em residências urbanas) e os resíduos de limpeza urbana (os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana) são denominados na lei como **Resíduos Sólidos Urbanos**. Esses resíduos também são distinguidos quanto a sua composição química e toxicidade. Todas essas distinções permitem classificar o resíduo como reciclável ou não reciclável.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais(ABRELPE), nota-se um aumento de 1,3% na quantidade total de RSU gerados no período de 2011 para 2012 (Figura 2), superando o crescimento da população urbana registrado no mesmo período, que foi de 0,9. Em 2010 e 2009 o aumento dos resíduos gerados foi ainda maior, 1,9% e 6,8% [11].

Analisando a Figura 3, observa-se que somente 6,2 milhões de toneladas de RSU deixaram de ser coletados no Brasil em 2012, sendo que o restante, em torno de 23,3 milhões de toneladas, foram dispostos em lixões e aterros controlados.

A destinação é peculiar ao país, podendo ser para Aterro Sanitário, Lixões, Aterros Controlados, Usina de Compostagem, Usinas de Tratamento, Estações de Transferência, Usinas Termoelétricas, Incineradoras, Valas Sépticas ou Microondas. No Brasil em 2012 (Figura 4), o maior percentual (37,4%) dos resíduos coletados foi para incineração.

Diversas diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos deverão ser implantadas pelos Municípios e Estados até 2014 [9]. Dentre as

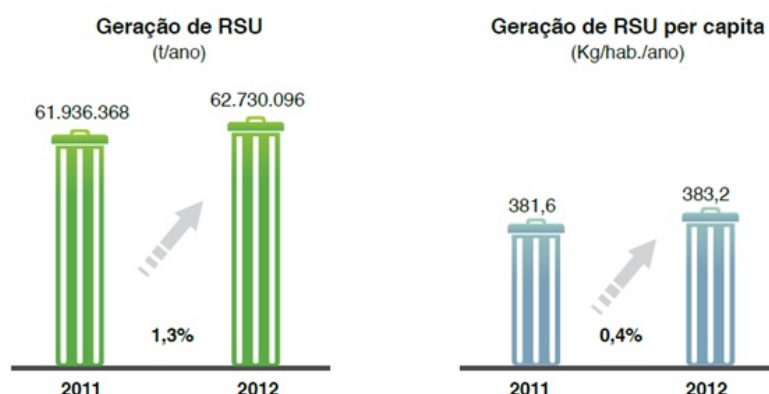


Figura 2. Geração de RSU
Fonte: [11]

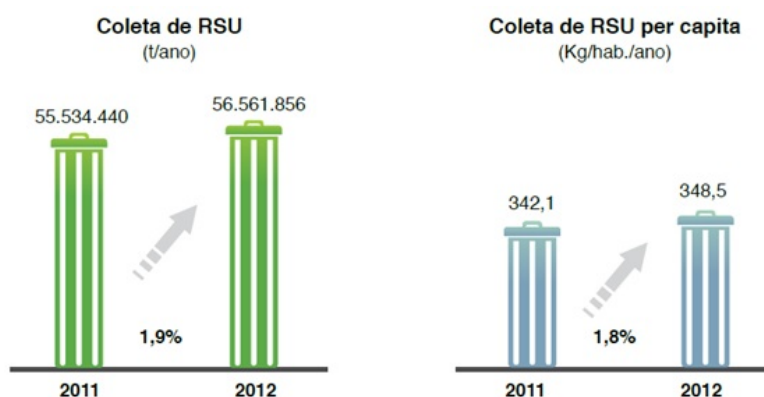


Figura 3. Coleta de RSU
Fonte: [11]

disposições gerais, estão:

- Logística reversa: um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, ou outra destinação final ambientalmente adequada.
- Estímulo ao desenvolvimento do mercado e consumo de resíduos recicláveis.
- Diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos.
- Criação de meios de redução, reutilização e reciclagem dos resíduos para a redução do montante gerado de resíduos e eliminação dos lixões. Assim como aproveitamento energético dos gases gerados desses resíduos.

Destacam-se no Brasil [9] e no mundo [14] novas medidas relacionadas a gestão, como porpostas de legislações:

- de gestão de programas, projetos e ações para o atendimento das diretrizes anteriores;
- medidas de incentivo e viabilização da gestão dos resíduos;
- diretrizes para o planejamento e gestão de resíduos sólidos.

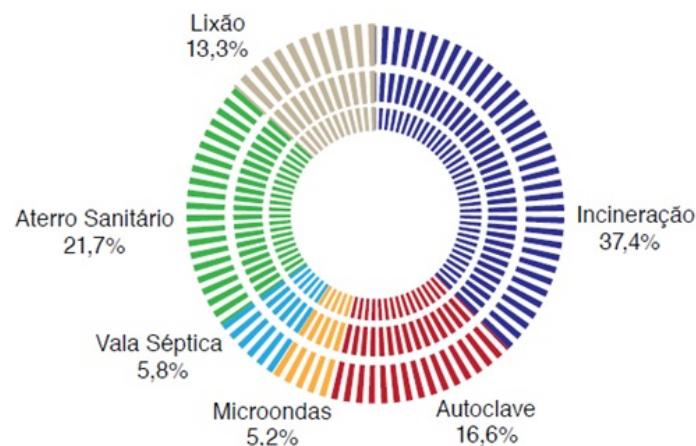


Figura 4. Destinação de RSU
Fonte: [9]

1.2. Processo de Tomada de Decisão

Os **Sistemas de Apoio à Decisão (SAD)** auxiliam os gestores de órgão público e privado no cumprimento das diretrizes propostas pelo governo na gestão de resíduos sólidos. Um SAD é desenvolvido com TICs e Algoritmos de Otimização, com o objetivo de tornar o gerenciamento mais ágil, eficiente e preciso.

Segundo Hebert Alexander Simon [133], criador da **Teoria da Decisão**, as organizações precisam ter uma maior preocupação com as decisões e depois com as ações decorrentes delas. A decisão é um processo complexo, onde se pode escolher uma entre várias alternativas candidatas e cada alternativa possui um conjunto de ações que visam alcançar um objetivo. A análise de decisão pode ser feita de forma que se encontre uma solução ótima ou ainda uma solução que seja a mais adequada para resolver o problema identificado [132] [135] [133].

De acordo com a **Teoria Comportamental** existem diversos fatores que podem influenciar de forma negativa ou positiva o processo de decisão, como a influência do ambiente em que gestor se encontra e o conflito de interesses (individual vs organizacional). Muitas decisões dos tomadores de decisão ou agentes de decisão são baseadas no conhecimento adquirido (aspecto cultura e psicológico) e das informações que lhes são transmitidas [135] [133].

Na gestão de resíduos sólidos estão envolvidos diversos tipos de *stakeholders*, como os gestores públicos (prefeito, vereador, ministro), os gestores ambientais, os empresários e órgãos fiscalizadores. Esses *stakeholders* precisam de sistemas e ferramentas que os auxiliem na tomada de decisão, lhes indicando possíveis soluções para os diferentes tipos de problemas.

Algumas soluções, como os modelos de simulação podem ser usadas para obtenção do conhecimento sobre os problemas da área de gestão de resíduos, outras podem ser direcionadas para a criação de uma ambiente sustentável. Existem aquelas que auxiliam na identificação e localização de possíveis áreas para instalação de aterros sanitários ou incineradores, assim como as relacionadas à gestão de coleta e transporte [49]

[105].

Algumas problemas ambientais necessitam ser resolvidos por vários *stakeholders* num curto espaço de tempo, com um grande montante de informações para serem processadas e com a expectativa de transparência e racionalidade nas propostas de soluções. Nessas situações é identificada a necessidade de uso dos métodos científicos da Pesquisa Operacional.

1.2.1. Conceitos de Pesquisa Operacional

Surgiu na Segunda Guerra Mundial o campo científico da **Pesquisa Operacional (PO)** onde foram desenvolvidos métodos e técnicas científicas para resolução dos problemas militares. O êxito dos resultados obtidos com a aplicação dos métodos se espalhou para outras áreas, como Economia, Engenharia, Computação e Ambiental, entre outras.

A PO também conhecida como Ciência da Gestão ou Ciência da Decisão dá suporte de forma racional e científica na seleção da melhor decisão, utilizando métodos de otimização matemáticos, análise estatística, métodos probabilísticos, simulação, métodos modernos de inteligência artificial, entre outros [141] [142].

A Figura 5 contém um agrupamento dos métodos de acordo com [136], [134] e [132]. Somente estão relacionados métodos e técnicas que estão presentes nas publicações dessa revisão.

A Ciência da Computação está diretamente relacionada com a PO. Essa forte relação está atrelada aos algoritmos e técnicas usados por ambos e pela necessidade do poder computacional (tempo de processamento ou capacidade de armazenamento) para execução dos métodos de otimização. Com o avanço da tecnologia se tornou possível resolver problemas de tamanhos maiores e de maior complexidade, adquirindo a PO uma maior maturidade [136].

A necessidade do poder computacional são evidenciados nos relatadas das publicações de previsões de resíduos gerados nos próximos 15 anos baseados em informações históricas de vários anos de algumas cidades, em alguns países, ou mesmo em sistemas de simulação de ambientes sustentáveis.

Na PO são criados modelos para representar as situações reais do sistema. Dependendo da natureza do problema e do tipo de decisão pode-se adotar um método diferente. De acordo com [134], a PO tem dois enfoques, o clássico e o atual. O clássico é derivado do conceito quantitativo sendo aplicadas técnicas de modelagem matemáticas e estatísticas para obtenção de uma solução ótima. Já no enfoque atual há a preocupação com soluções impraticáveis e a falta de flexibilidade de alguns modelos, havendo o esforço de compreensão do funcionamento do próprio sistema e problema.

O desenvolvimento dos modelos seguem algumas etapas sequencias: definição do problema, construção do modelo, análise e obtenção da solução do modelo (com o uso de modelos matemáticas e otimização), validação do modelo, implementação da solução obtida, avaliação dos resultados adotados. Nesse processo podem ser visualizadas as abrangência e relações das variáveis envolvidas [134].

Nos modelos matemáticos ou simbólicos há a pressuposição de que as

informações e variáveis do problema são quantificadas, existe um conjunto de restrições, há uma simbologia de representação e funções matemáticas para descrever as relações existentes [136]. Para algumas categorias de problemas a adoção desses modelos é impraticável, como os problemas heurísticos, onde são adotadas técnicas inteligentes (Figura 5).

Os métodos estatísticos permitem a criação de modelos que representem com maior precisão as situações reais e que faça análise de dados experimentais.

As técnicas estocásticas permitem a distribuição probabilística e possuem métodos que permitem a representação do problema real através de um modelo. Com esse modelo de simulação é possível prever cenários, analisar alternativas antes de sua implementação. Seria inviável fazer essa projeção num cenário real devido a onerosidade e custo (Figura 5).

Não existe um método único que deva ser aplicado sempre, o que existe é uma variedade muito grande de métodos e técnicas com propósitos específicos e mais adequados à determinados contextos. A programação linear pode ser simples e rápida para resolução de determinados problemas e em outros possa ser impraticável recomendando-se o uso de algoritmos genéticos [136].

Em todas as áreas existe a necessidade de solucionar problemas da forma mais eficiente, seja na Engenharia, na Computação, na Economia, na Administração ou na Administração Pública. A tomada de decisão deve ser realizada racionalmente por diversos funcionários, cada um responsável por um determinado setor da organização, podendo ser um engenheiro, um analista contábil, um gestor de projetos, um gestor ambiental ou mesmo um gestor público.

A PO é uma área multidisciplinar e interdisciplinar, onde as decisões podem ser realizadas de forma conjunta por vários profissionais de áreas diferentes. Ela tem aplicação em várias ciências, como a Computação, a Matemática e a Engenharia. Em todas as ciências são estudados os modelos de PO, mas com vertentes e nomes distintos. Na Engenharia existe o estudo dos Modelos de Otimização, na Administração e Economia o Estudo dos Modelos da PO, na Computação é feito o estudo das técnicas de forma individual e conjunta, com disciplinas de Aprendizado de Máquina ou Inteligência Artificial que abordam métodos e técnicas inteligentes (Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos) e ainda existem disciplinas de Análises Estatísticas e Programação Linear.

As tecnologias além de tornarem viável o processo de resolução de problemas mais complexos, ela também dá suporte com softwares de otimização (LAMPS, MINOS, MIP Solver, Evolver, What's Best), softwares estatísticos (SPSS, SAS, Minitab, Excel), softwares de simulação (Arena, GPSS), entre outros (Matlab, Gold Miner, Clementine, Expert Choice, Evolver).

Alguns métodos são descritos a seguir:

- **Programação Linear:** é um modelo matemático onde todas as relações matemáticas são lineares. Ela trabalha com problemas de otimização de uma função que possui várias variáveis sujeitas a restrições. Tem seus valores das variáveis pré-definidos, restrições e uma função, procurando a otimização de um objetivo.
- **Teoria dos Jogos:** representação da realidade através da formulação matemática das estratégias e análise dos conflitos de interesses.

- **Teoria de Filas ou Congestionamento:** utiliza técnicas matemáticas para otimização da matriz (arranjos) em problemas de espera e congestionamento.
- **Teoria de Grafos:** são operações ou atividades representadas em redes, com vários elementos (nós) interligados de alguma forma.
- **Problema do Transporte:** o problema da rede de transporte é representado por um modelo computacional (grafo), objetivando minimização de custos, análise do problema de transbordo e rotas limitadas.
- **Método de Simulação Monte Carlo:** esse é um método de simulação com funções probabilísticas que faz análise de riscos, pode incorporar variáveis ambientais e trabalhar com incertezas.
- **Algoritmo Genético:** são algoritmos de otimização e busca baseados no mecanismo da genética humana, processos naturais de evolução e seleção.
- **Algoritmo Colônia de Formigas:** é um algoritmo baseado no comportamento de cooperação das formigas que procuram encontrar o caminho mais curto até o alimento. É usado para otimização de caminho em grafos.
- **Redes Neurais:** são modelos baseados no sistema nervoso humano que possui um grande poder de processamento paralelo e inter-relacionamento dos dados para resolver problemas.
- **Raciocínio Baseado em Casos:** uma solução é dada de acordo com as casos de experiências armazenados, onde há uma técnicas de cálculo de distância para verificar a similaridade entre a situação atual e os casos armazenados.

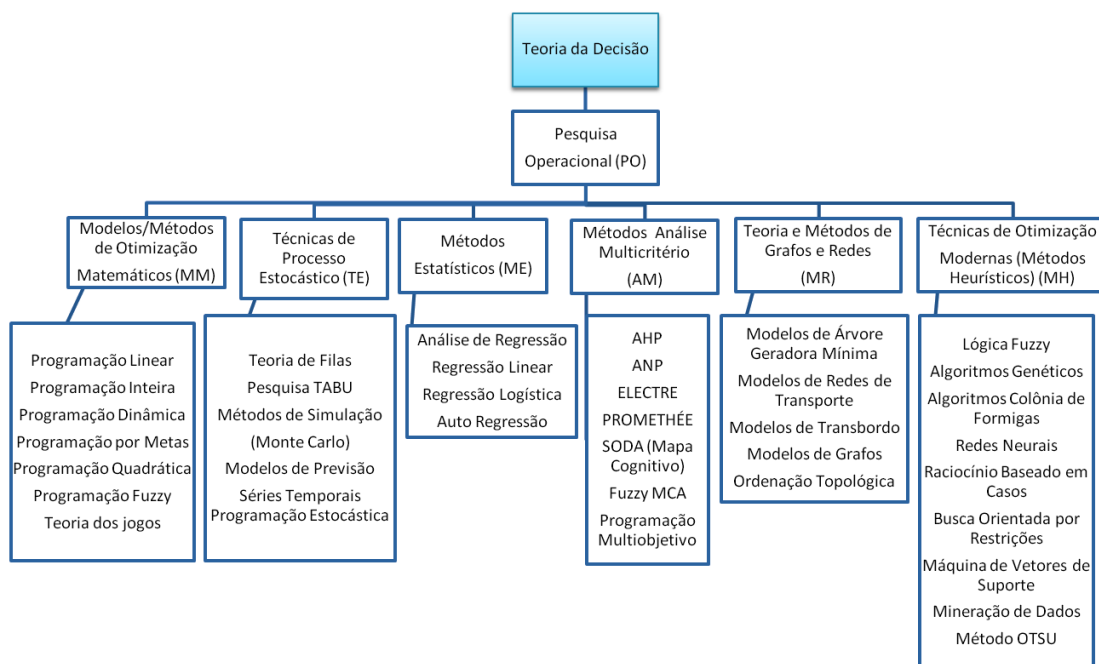


Figura 5. Teoria da Decisão e PO

1.2.2. Conceitos de Tomada de Decisão Multicritério

No contexto ambiental existem vários critérios econômicas, ambientais, políticas e sociais. Esses critérios podem ser conflitantes entre si, não permitindo que sejam satisfeitos

simultaneamente todos os critérios. Como consequência não se alcança uma solução ótima.

São detectadas nas publicações pesquisadas um número crescente de alternativas na área de gestão de resíduos, criando-se situações de incertezas na tomada de decisão e esforços dos gestores quanto a análise, classificação e seleção das alternativas. Esse problema de otimização pertence a área de **Tomada de Decisão Multicritério**.

No desenvolvimento sustentável devem ser considerados diversos indicadores, como os de impacto ambiental, uso e esgotamento dos recursos naturais e relacionados aos riscos à saúde humana. No processo de escolha de alternativas e de tomada de decisão na área ambiental são adotados métodos de **Análise Multicritério**. Esse instrumento permite que os envolvidos no processo de gestão entendem e correlacionem melhor as alternativas e determine no final, dentre as alternativas qual a preferência global [52].

A necessidade de otimização de problemas com mais de um objetivo, e estes por sua vez conflitantes, fez surgir a necessidade de desenvolvimento de **Métodos de Programação Multiobjetivos**. Essa área de problema também é referenciada como **Análise de Decisão Multicritério**, **Otimização Multiobjetivo**, ou ainda **Análise Multiatributo**. Todos eles pertencentes a **Tomada de Decisão Multicritério** [136] [138].

Segundo [137], a Análise Multicritério ou Apoio Multicritério à Decisão pode ser uma ferramenta útil nos processos decisórios da Políticas Públicas, onde as decisões tem que ser pautadas em critérios objetivos e transparentes, levando-se em consideração a subjetividade dos gestores públicos e a possibilidade do processo de decisão coletivo. Ela é uma técnica quali-quantitativa, um meio termo entre a rigurosidade estrutural da PO e das metodologias pouco estruturadas.

Segundo [138], não há uma taxonomia e consenso geral na definição dos métodos com múltiplos critérios e múltiplos objetivos na Análise de Decisão Multicritério, referenciadas como Análise Multicritério, Apoio de Decisão Multicritério, e que são métodos que contemplam a representação de estruturas de preferência da tomada de decisão, procurando-se encontrar decisões satisfatórias. O termo mais abrangente é Tomada de Decisão Multicritério. [138] propõe referências de uso com definições que não causem ambiguidade e confusão.

A aplicabilidade da análise multicritério é destacado por [137] na Administração Pública, onde os gestores públicos podem escolher um entre vários projetos, optar pelo início de uma das várias obras, selecionar uma das propostas em uma licitação, identificar vulnerabilidades sociais para receber investimentos públicos ou sociais. Nessa aplicação [137] descreve os passos desse processo: especificação clara da questão que precisa ser resolvida (escolher o melhor projeto, escolher a melhor proposta, identificar regiões mais necessitadas de intervenção); identificação das alternativas viáveis (projetos submetidos, as propostas entregues na licitação, as diversas localidades); elencar os tomadores de decisão e seu grau de influência que terão interesse no processo (gestores de prefeituras, promotores); definição dos critérios de avaliação das alternativas e seus pesos (custo, impacto social); atribuição do valor a cada critério de avaliação para cada alternativa identificada.

A metodologia de Tomada de Decisão Multicritério fornece um conjunto de métodos e técnicas que propiciam o estabelecimento de relação de preferência subjeti-

vas entre as alternativas que são avaliadas sob a influência dos multicritérios.

Existem vários métodos multicritérios, como **AHP** (*Analytic Hierarchy Process*), **ANP** (*Analytic Network Process*), **ELECTRE** (*ELimination and Choice Expressing REality*), **PROMETHEE** (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), **NAIADE** (*Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments*) e **Fuzzy MCA**.

Alguns métodos, como o AHP, que se baseia na decomposição da complexidade do problema de forma que um subproblema é mais fácil de analisar e compreender. Existe uma relação de hierarquia e os *stakeholders* podem fazer análises qualitativos dos elementos, pois depois eles serão convertidas para pesos. O método Promethée tem um processo que faz a comparação sempre em pares de alternativas e cria uma sobreclassificação delas. Existe uma prevalência de uma alternativa em relação a outra [135] [140]. Segundo [137], o método Promethée tem aplicabilidade no setor público devido a sua transparência e simplicidade de aplicação.

A **Lógica Fuzzy** é usada para trabalhar com problemas que envolvam no processamento dados incertos, qualitativos e imprecisos. Esses problemas são comuns na área ambiental, onde a descrição linguística dos agentes não é um valor exato [52]. A Lógica Fuzzy é usado em diversos métodos da PO.

Segundo [138] [139], pode-se identificar dentro da análise multicritérios dois grupos com abordagens distintas. A análise multiatributo os critérios são atributos, os objetivos são implícitos, os atributos são explícitos, as restrições são inativas, as alternativas são finitas e discretas e são usados para seleção e avaliação. Já na análise multiobjetivo os critérios são objetivos, os objetivos são explicitados, os atributos são implícitos, as restrições são ativas, as alternativas são infinitas e contínuas e são usados em projetos.

Na categoria de problemas de **Tomada de Decisão Multiobjetivo** deve-se identificar qual a melhor alternativa deve ser escolhida, de acordo com as restrições definidas para o problema. Ela tem os métodos MOLP (Programação Multiobjetivo), Programação por Meta e Programação de Compromisso.

Por meio da PO e das TICs são criados modelos que representem situações reais dos problemas e das propostas de soluções para a gestão de resíduos. Nesse Relatório serão relatados sistemas que integram algoritmos, métodos de otimização, poder computacional e tecnologias que permitam a criação desses modelos e soluções para os problemas ambientais.

Na revisão realizada existem publicações que comparam e discutem diferentes métodos multicritérios. Eles consideram que os problemas de decisão complexos possuem diversos critérios a serem analisados, conflitos de valores (qualitativos e quantitativos), subjetividade (subjetividade no julgamento e experiência de quem analisa) e diferentes objetivos ou alternativas que possam atender a uma solução em diferentes momentos.

2. Processo de Revisão Sistemática

A metodologia de Revisão Sistemática ganhou força na década de 70 e foi difundida em diversas áreas, como a da computação. Foi criada como uma diretriz confiável para revisões bibliográficas, com uma estruturação de etapas e procedimentos bem definidos [23].

Ela possui uma diretriz formalizada por meio de um **Protocolo** que descreve a estratégia proposta para a realização da revisão, especificando a questão abordada na investigação e quais métodos serão utilizados para realizar a análise [20] [22]. Outros pesquisadores podem ser capazes de reproduzir a revisão de acordo com o processo descrito no protocolo [21]. Na revisão, procura-se detectar o maior número possível de trabalhos relevantes, deixando claro os critérios de inclusão e exclusão da pesquisa.

A estratégia de busca é um plano para uma pesquisa a fim de identificar e recuperar o menor subconjunto possível de publicações que atendam aos critérios da revisão. Ela tem termos definidos como critérios de pesquisa, que são modificados e incrementados durante o estudo exploratório. Essa estrutura de pesquisa e sintaxe são modificados para limitar o grande número de publicações retornados fora da área [20]. Esses critérios são constituídos pelas palavras-chaves, utilizados para aceitação ou rejeição de artigos.

Com o uso dessa estratégia, há um esforço maior por parte do pesquisador, destacando-se a não versatilidade, pois é preciso seguir as diretrizes definidas no início do planejamento. Ao final do processo, com as etapas executadas temos como resultado uma sumarização de evidências, como as tecnologia empregadas, identificação de novas linhas de pesquisa ou lacunas nas pesquisas atuais. Essas descobertas podem não ser possíveis com o processo tradicional de revisão [21] [20].

O processo da Revisão Sistemática é constituído de três etapas principais e em cada um delas seus procedimentos[23] [131](Figura 6):

- Planejamento: formalização através do Protocolo de Pesquisa;
- Execução: com pesquisa e seleção preliminar (pesquisas nas bases, importação das referências bibliográficas e resumos das publicações) e seleção final (processo de pesquisas, importação das publicações completas e processo de extração para avaliação);
- Análise de resultados: sumarização e categorização (elaboração de relatórios e análise estatística dos resultados).

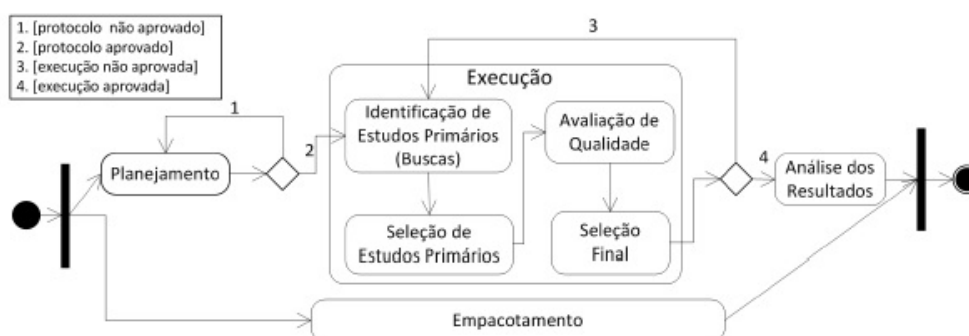


Figura 6. Processo da Revisão Sistemática

Fonte: [131]

Há diversas **ferramentas de gestão bibliográfica** que facilitam os processo de revisão, como o JabRef[127], StArt [126], Zotero[128], EndNote[129], Mendeley[130], entre outras. Nessa revisão foram adotadas as ferramentas **Zotero e StArt** (*State of*

the Art through Systematic Review). A Start auxiliou desde a etapa do protocolo até a sumarização dos resultados [24] e a Zotero no controle das referências bibliográficas.

2.1. Etapa de Planejamento

A etapa de planejamento é a fase de concepção, onde se representa formalmente as questões de pesquisa relevantes e irrelevantes através dos termos de Inclusão e Exclusão, definido-se o propósito da investigação [23] e as bases-fontes de pesquisa (Bibliotecas Digitais Nacionais e Internacionais), para se buscar respostas através de artigos, documentos e relatórios científicos. Nessa etapa há uma concentração maior de reflexão sobre o tema de investigação, pois se define o porquê da pesquisa. Antes de iniciar qualquer pesquisa ou revisão deve-se ter um motivo de sua existência, que pode ser por falta de embasamento para defender uma ideia, ou já ter uma, mas não saber como explorá-la (não tem certeza como resolver), ou mesmo criar uma forma de filtrar um tema relevante na área.

As plataformas ou bases de pesquisas científicas usadas na revisão são Bibliotecas Digitais Indexadas que contém publicações de diversas áreas, como da Ciência da Computação, Tecnologia da Informação e Meio Ambiente, com acervos digitais de jornais, revistas, conferências da área científica do mundo inteiro. Seus bancos de dados são usados como fontes de referências confiáveis, com conteúdos esclarecedores e de apoio aos pesquisadores. Alguns deles são de acesso público, outros são vinculados a instituições de ensino que mantêm contrato de uso. Foram usadas nessa revisão as **plataformas IEEE, Scopus, Science Direct, Web Knowledge, Web of Science e ACM**.

No protocolo dessa revisão foi definido como objetivo **”Pesquisar no cenário mundial de Sistema de Apoio à Decisão, voltados ao cenário de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos, propostas de soluções para os problemas de organização, controle, logística e planejamento e reciclagem”**. Colocando como questão principal **”Como o mundo gerencia o problema de Resíduos Sólidos Urbanos com o aumento do consumo?”**.

Essa investigação acabou remetendo a indagações, como: **Quais são as ferramentas de TIC, PO e ADM mais pesquisadas e aplicadas dentro do contexto da revisão? No que a Ciência da Computação e as TIC estão contribuindo dentro da área de gestão de RSU? Quais métodos multicritérios estão sendo mais adotados? Em que etapas da gestão de RSU são adotadas as tecnologias e técnicas de apoio a decisão? Quais países estão investigando soluções para o RSU? Quais propostas e soluções criadas foram adotadas pelos países?**

Para atender à questão de pesquisa foi usada a estratégia que procura publicações que contenham os termos (palavras-chave) de inclusão definidos numa expressão lógica, constituída pelos três critérios de pesquisa combinados: **Problema, Mecanismos de Solução e Medidas** (Tabela 1).

A combinação dessas palavras-chaves concatenadas pelos operadores lógicos formou o que se denomina de **String de Busca**. Na definição de palavras-chaves são usados o termo primitivo e seus derivados principais. Por exemplo, no caso em questão ao pesquisar sobre “reciclagem” foi utilizada também as palavras “reciclado”, “reciclagem”, “reciclável”.

Foram definidas duas *strings*, uma de **Inclusão** e outra de **Exclusão**. A *string* de

Tabela 1. Critérios usados na *String* de Pesquisa

Problemas	Mecanismos	Medidas
Reuse Of Materials	Geographic Information System	Project
Recycled	DSS	Tools
Recycable	Decision Support System	Method
Waste Management	SAD	System
Sustainability	Decision Support	Software
Electronic Waste	Business Intelligence	Technique
Recycling	Knowledge Discovery	Application
Cooperative	BI	Modeling
MSU	Information Technology	Model
Reusable	Pattern Recognition	
Waste Collector	OLAP	
Recycling	Analytical Procedure	
Urban Solid Waste	Machine Learning	
Garbage Recycling	GIS	
Recycable Waste	Geoprocessing	
	IT	
	KDD	
	Data Mining	
	Data Warehouse	

inclusão contém o propósito da revisão sistemática, ou seja, as publicações retornadas devem atender a uma das combinações da *string*. A *string* de exclusão abrange assuntos ou subáreas relacionados a *string* de inclusão, mas que não são relevantes no contexto pesquisado.

Na área de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade existem muitas publicações relacionadas com química, material orgânico, lixo hospitalar, água, área da saúde, emissão de gás carbônico, soluções para a agricultura, consumo de energia de equipamentos eletroeletrônico, nano partículas, lixo radioativo, gases poluidores, entre outros.

Nesse trabalho o levantamento e escolha das palavras-chaves apropriadas para o objetivo e questão de pesquisa demandou um tempo maior do que o previsto inicialmente. Houve alteração dos termos de inclusão e exclusão, conforme as *strings* de pesquisa eram feitas e aplicadas nas plataformas de busca. Entre os motivos que levaram a essas mudanças foram:

- **Superficial ou Específica:** o número de publicações retornadas pode ser limitado ou excedente, de acordo com a forma de combinar a expressão lógica da *string*. Por exemplo, “sustentabilidade” é um termo muito abrangente e pertencente a várias ciências, portanto superficial, o que gera um número elevado de publicações. Por outro lado, a expressão “mineração de dados em cooperativas” é muito específica, podendo gerar poucos ou nenhum retorno.
- **Sinônimos:** as palavras-chaves que designam uma ferramenta, tecnologia, ou mesmo um tipo de sistema possuem sinônimos e abreviaturas, como por exemplo, “Sistema de Apoio à Decisão” também pode ser encontrado como “Sistema de Suporte à Decisão”, “Sistema Estratégico” e “SAD”.
- **Termos em Inglês:** a maioria das publicações são encontradas e publicadas em plataformas de pesquisa internacional, de forma que as palavras-chaves tem que ser traduzidas corretamente, ou seja, com o significado prevalecendo do português para o inglês, como por exemplo: lixo pode ser *garbage*, *refuse*, *waste*, *trash*, *offscourings*. Assim com resíduo é *residue*, *marc*, *draff*, mas no contexto de “Resíduo Sólido Urbano” é traduzido como *waste*. Nessa pesquisa somente foram usados os

termos em inglês devido a pesquisa ser realizada em plataformas internacionais.

Nessa revisão o protocolo definido contém as seguintes *strings*:

- **String padrão definindo a Inclusão de Publicações**

(I) (recycling OR recyclable OR recycled OR reusable OR "solid waste" OR msu OR reuse of materials OR sustainability OR waste solid OR "garbage recycling" OR "recycling cooperative" OR "recycled cooperative" OR "reusable cooperative" OR "recycling wastes" OR "waste collector" OR "waste management" OR "electronic waste") and ("decision support system" OR DSS OR "decision support" OR "business intelligence" OR bi OR "information technology" OR it OR "Data mining" OR "Data warehouse" OR "analytical processing" OR "analytical procedure" OR OLAP OR KDD OR "knowledge discovery" OR "pattern recognition" OR "machine learning" OR "geographic information system" OR GIS OR "geoprocessing" or "Geographical Information System") and (tool OR system OR software OR application OR model OR modeling OR technique OR method OR project)

- **String padrão definindo a Exclusão de Publicações**

(E) (chemical OR organics OR water OR hospital OR medical OR carbon OR agriculture OR electrical energy OR gas OR nanoparticles OR radioactive OR gaseous)

Toda publicação possui uma identificação, onde se tem o **a) título, b) resumo, c) palavras-chaves, d) DOI, e) ISSN, f) Autor**. Ao usar as bibliotecas digitais é possível escolher onde aplicar as *strings* de busca. No caso dessa revisão foram escolhidas as opções a, b e c, que foram customizados de acordo com as bibliotecas. Algumas bases disponibilizam diversas opções de escolha enquanto outras apenas um atributo, conforme pode-se observar nas *Strings* de Busca (Apêndice A).

2.2. Etapa de Execução

Na etapa de **Execução** ocorre a busca e seleção dos artigos, documentos e publicações baseadas nos critérios definidos na seção anterior. O primeiro passo dessa etapa é aplicar a *string* em cada uma das bibliotecas digitais selecionadas e após a obtenção dos resultados faz-se a importação do **Arquivo de Referências Bibliográficas** (BIB, RIS) que contém os principais dados dessas publicações (título, autor, data, palavras-chaves, resumo). No StArt, para cada plataforma pesquisada é criada uma Sessão de Pesquisa e dentro dela são criados os **Catálogos das Publicações** (Figura 7), gerados automaticamente a partir do arquivo importado.

A partir desses catálogos das publicações faz-se a leitura preliminar do resumo, palavras-chaves e título, com o objetivo de verificar e classificar a relevância da publicação. Nesse processo são selecionados os catálogos mais relevantes que passarão pela filtragem final.

De acordo com as particularidades de cada plataforma digital houve uma adequação na forma de estruturar a *string* de pesquisa, como por exemplo, na IEEE e ACM foi feita a pesquisa pelo resumo da publicação, enquanto que na Science Direct e Scopus foi feito pelo *TITLE-ABSTR-KEY* (título, resumo e palavras-chaves) (Anexo A).

Algumas plataformas permitem o refinamento da busca, usando filtros de pesquisa por meio da definição do intervalo de tempo (ano da publicação), pela escolha de uma ou

mais categorias da base, pela escolha do tipo de publicação e conferência da área, pelas áreas ou domínios de pesquisa existentes na base. No caso dessa revisão foi delimitada a pesquisa para os anos de 2010 à 2012 e foram adotados diversos tipos de refinamento para minimizar o número de publicações resultantes.

Na base de pesquisa Scopus a aplicação da *string* resultou no retorno de 8165 publicações científicas. Devido ao elevado número de publicações foi aplicado um filtro limitando o retorno aos período de janeiro de 2010 à fevereiro de 2013, reduzindo o total para 2292. Um segundo filtro foi aplicado para excluir as subáreas fora do contexto, o que resultou numa nova redução, dessa vez para 935 publicações (Apêndice A).

Em cada plataforma foram aplicados filtros diferentes. Na Web Science optou-se por filtrar por categoria e área, passando-se de 4193 para 1764 resultantes. São descritas no Apêndice A as *strings* com seus filtros aplicados em cada base.

Independente da automatização do processo de revisão, seja com o uso de ferramenta ou não, é possível importar as **Fichas das Referências** através do arquivo no formato BibTex, MedLine, RIS, Cochrane, encontradas nas plataformas de pesquisa. Esses arquivos possuem os dados sobre as publicações, como título, autores, palavras-chaves, jornais, ano de publicação, comentários, resumos, DOI, ISSN, URL (Figura 7).

The screenshot shows a web-based application window for managing a publication catalog. The window title is "Paper 42: Visual sorting of recyclable goods using a support vector machine". The interface includes several tabs: "Study Data", "Selection Data", "Data Extraction Form", and "Similar Studies". The "Study Data" tab is active, displaying the following information:

- Author:** Nawrocky, M. and Schuurman, D.C. and Fortuna, J.
- Title:** Visual sorting of recyclable goods using a support vector machine
- Keywords:** analysis;recycling;environmental concerns;grey-scale camera;image classification;image histograms;image intensity data;landfill sites;machine vision;plastic bottles;polycoat containers;recyclable goods;recyclable material management;recyclable material sorting;support vector machine;visual sorting;
- Journal:** Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2010 23rd Canadian Conference on
- Abstract:** Mounting environmental concerns and changing attitudes have led to recycling programs to divert waste from entering landfill sites. This trend has led municipalities to explore improved methods and tools such as machine vision for sorting and managing the growing volume of recyclable materials. This paper describes an approach to visual sorting using image intensity data and a support vector machine applied to the unique problem of sorting polycoat containers from plastic bottles. The approach is rotation, translation and scale invariant since it uses features derived from image histograms. We also demonstrate that the approach is robust to the size, shape, varied labeling and deformation of the recycled material. An experiment is performed to verify the approach using separate test and training data. Despite the use of a modest number of training images, the system achieves a classification accuracy of over 96% using images obtained from a single grey-scale camera.
- Year:** 2010
- Type:**
- Comment:**

At the bottom of the window, there are several controls and buttons:

- Status:** Duplicated
- Search session:** SEARCH4
- Reading Priority:** High
- Score:** 50
- Buttons:** save & previous, save & next, previous, next, Full text, Save, Cancel
- Message:** This paper is in Extraction step

Figura 7. Exemplo de um Catálogo de publicação importada no StArt

2.2.1. Resultados da Seleção Preliminar

Ao final da aplicação da *string* de busca nas bases de pesquisas indexadas se obteve um total de 7599 publicações resultantes das quais 2137 artigos (28%) eram da Web Kno-

wledge, 1895 da IEEE (25%), 1764 (23%) da Web of Science, 935 (12%) da Scopus, 665 (9%) da ACM e 203 (3%) da Science Direct, conforme a Figura 8.

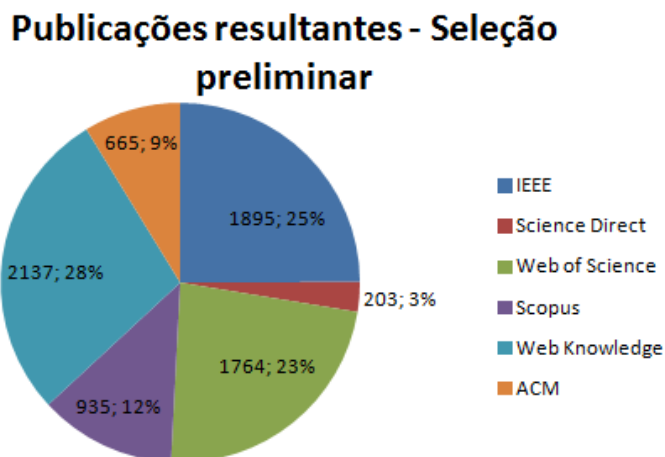


Figura 8. Resultados da seleção preliminar por Plataformas de Pesquisa

Das 7597 publicações resultante foram importados 6932 (Figura 9), devido a problema de geração do arquivo de referência onde a importação de cada resultado teria que ser realizada de forma individual.

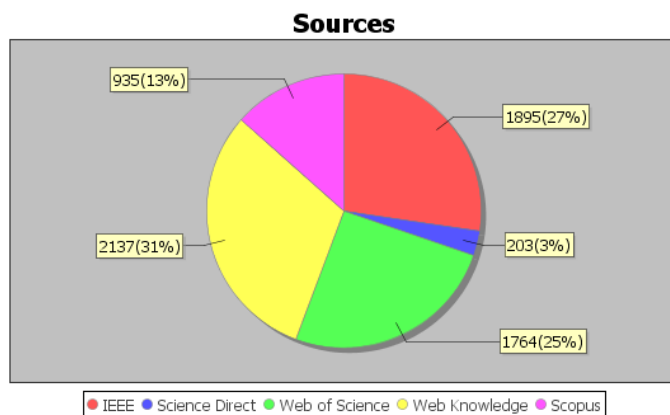


Figura 9. Publicações importadas das Plataformas de Pesquisas

Das publicações importadas muitas eram duplicadas e foram detectadas por intermédio do recurso existente na ferramenta StArt.

Foram adotados alguns **CrITÉrios de Inclusão e Exclusão** para aceitação ou não das publicações e das próprias bases digitais na qual foram pesquisadas. Como critério de exclusão foram definidos:

- a) catálogos retornados com concatenação de palavras, de forma que além das publicações detectadas como duplicadas existiam outras que não foram identificadas. Como por exemplo, foram importadas duas publicações, uma com o título "*Kinetics of sintering municipal solid waste incineration fly ash mixed with illite*" e a outra "*Kinetics of sintering municipal solid waste incineration fly ash*

mixed with illite”, ambas se referem a mesma publicação. Esse problema somente pode ser detectado após a leitura preliminar, onde é feita a detecção manual do artigo duplicado.

- b) impossibilidade de visualização do resumo e palavras chaves, conforme Figura 10;
- c) impossibilidade de importação de referências das publicações, necessárias para criação do catálogo;
- d) base digital com abrangência de diversas áreas de pesquisa e que contém publicações de outras bases digitais;
- e) base de pesquisa com predominância de pesquisas duplicadas (artigos existem em outra base);
- f) publicações resultantes que não satisfaçam a string de pesquisa.

Figura 10. Publicação não aceita - Importação incompleta das referências

Foi criada a sessão para a biblioteca digital da ACM, mas não foi possível importar as referências dos resultados. Ela permite somente a importação do BibTex de uma publicação por vez, tornando-se inviável realizar o procedimento para os seus 665 resultados. Como alternativa para a classificação dessas publicações, criou-se uma planilha eletrônica que posteriormente foram descartadas por se enquadrarem nos itens “c” e “e” dos critérios de exclusão.

Todos os resultados importados da sessão Web Knowledge foram rejeitados devido aos itens “b”, “d” e “f”, conforme Tabela 2. Das 2135 publicações foram enquadradas pelo StArt 532 como “Duplicados”. Muitas publicações dessa sessão foram

detectadas fora do contexto da pesquisa pelo leitura do título e outras por não terem resumo e para agilizar o processo de revisão foram deixadas como “Não Classificados”, de forma que na Figura 11, observa-se que essa seção de pesquisa representa 23% (1603) publicações “Não Classificados”.

Fazendo uma sumarização inicial da seleção preliminar obtêm-se a Tabela 2 e a Figura 8, onde é evidenciado o total de publicações resultantes das bases digitais e que as publicações da Web Knowledge e ACM não passarão para a processo de extração e leitura completa:

Tabela 2. Resultados Pesquisados x Resultados Importados x Resultados usados na Seleção

Plataforma de Pesquisa	Resultado	Qtd Importado	Publicações selecionadas
IEEE	1895	1895	1895
Science Direct	203	203	203
Web of Science	1764	1764	1764
Scopus	935	935	935
Web Knowledge	2137	2137	0
ACM	665	0	0
Total	7599	6934	4797

Após a leitura do resumo de cada catálogo foi realizada uma classificação de importância da publicação, que poderia ser enquadrado em um dos quatro níveis: “Muito alto”, “Alto”, “Baixo” e “Muito baixo” (Figura 7).

Nessa fase de seleção preliminar há uma atenção na leitura do resumo e palavras-chaves dos catálogos das publicações. O critério usado para a Aceitação foi de encontrar indícios que mostrassem a relação da publicação com a Questão e *String* de Inclusão definida no Protocolo. Foram aceitas publicações com pelo menos um vínculo com as áreas de Resíduos Sólidos Urbanos e/ou de Sistema de Apoio à Decisão, priorizando-se a presença do maior número de palavras-chaves relevantes para o contexto, como geoprocessamento, reciclagem, resíduos sólidos, entre outros.

O resultado final dessa seleção mostra que 64% (4447) das publicações foram enquadradas como “Rejeitadas”, 8% (572) como “Duplicados” e 23% (1603) “Não Classificados” e 4% como “Aceitas”, o equivalente a **312 publicações que passaram para o processo de extração** (Figura 11).

2.2.2. Processo de Extração e Resultado da Seleção Final

O processo de **Extração** é fundamental para o sucesso e qualidade da revisão, mas requer muito tempo para a leitura completa das publicações selecionadas. Nesse processo, procura-se para cada publicação “aceita”, na seleção preliminar, o respectivo arquivo com seu texto completo para uma leitura mais aprofundada. Se não houver acesso ao artigo completo da publicação selecionada ela é enquadrada como “Rejeitada” e se ele for encontrado será *linkado* ao respectivo catálogo de referência para leitura futura.

Não é possível se ter acesso ao artigo completo de todas as publicações selecionadas, devido a estes estarem em bases restritas a assinantes pagantes ou por terem endereços de acessos corrompidos.

Após a busca e linkagem dos artigos completos com os seus respectivos catálogos

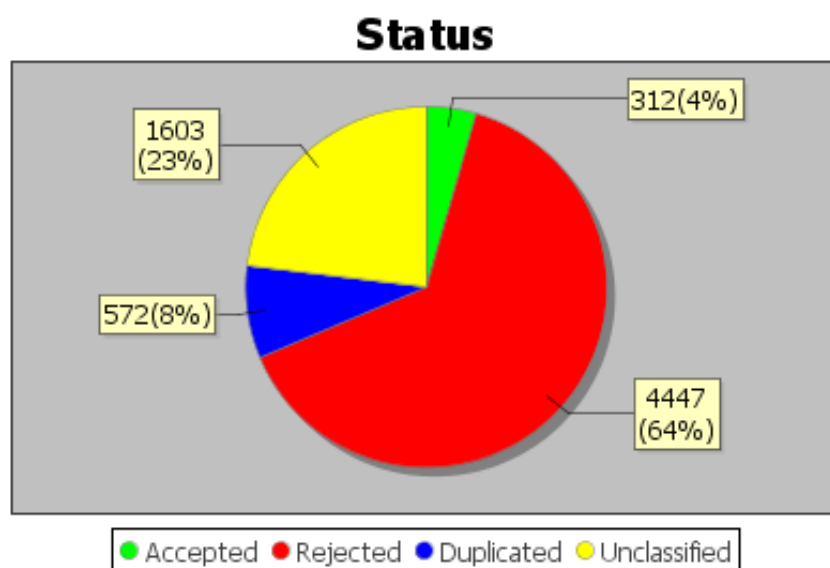


Figura 11. Resultado Final da Fase de Seleção Preliminar - Figura do StArt

foram detectadas na leitura mais onze publicações duplicadas e estas enquadradas como “Rejeitadas”. Algumas tinham nomes diferentes e enviadas a eventos distintos, mas o conteúdo abordava a mesma pesquisa. Elas equivalem a 4% do total dessa Fase de Extração, como mostra a Figura 12.

Conforme foram realizadas as leituras das publicações foram verificados artigos dos mesmos autores, descrevendo sobre o mesmo projeto, mas com uma abordagem diferente em cada um. Essa verificação de correlação das publicações permitiu fazer uma *linkagem* entre eles, melhorando a compreensão da dimensionalidade dos projetos propostos. Por exemplo, o projeto “Sistema Integrado de Resíduos Sólidos baseado em RFID, GPS e câmera” possui quatro publicações correlacionadas: uma descreve a revisão do sistema de monitoramento de coleta dos recipientes de resíduos sólidos [25]; outra descreve a integração das tecnologias [26] [27]; a terceira aborda o processamento de imagem para detectar o nível lixo [28] e por fim a quarta descreve a técnica de tratamento de imagem [17].

Para garantir a identificação das publicações mais relevantes para a revisão foi desenvolvida uma planilha eletrônica de classificação, onde para cada artigo lido e analisado criava-se um registro com identificadores, visando identificar respostas para algumas das questões levantadas no protocolo, como: “Quais tecnologias, modelos e algoritmos de suporte à decisão adotadas na gestão de resíduos sólidos?”, “Quais países estão investigando soluções para esse problema?”, entre outras.

Identificou-se no registro: área e subáreas da publicação; nacionalidade do autor; local de aplicação da pesquisa (países envolvidos no estudo de caso, na aplicação da tecnologia ou no estudo dos dados levantados); ano, tipo de aplicação ou foco de estudo; tecnologia empregada (algoritmo, ferramenta, modelo matemático); detalhamento da tecnologia; tipos de resíduos abordados (urbano, equipamento elétrico-eletrônico, perigoso, construção cívil); tipo de destinação (aterro, incineração, compostagem, reciclagem, reutilização, entre outros), proposta da publicação (modelo, plataforma, revisão,

metodologia) e descrição e resumo geral.

Com o levantamento dos países pesquisados nas publicações é possível detectar a importância do tema de pesquisa no contexto mundial, quais são tendências de tratamento dos resíduos sólidos e as diferenças internacionais na destinação dos resíduos, assim como as políticas e motivações aplicadas por cada país.

Das 312 publicações selecionadas para essa fase, foram filtradas e classificadas como “Aceitas” 109 publicações (Figura 12). Dessas aceitas, 23 estão diretamente relacionadas com o tema com prioridade de leitura classificada como “Muito alta”, 29 como “Alta”, 46 como “Baixa” e 11 como “Muito baixa”.

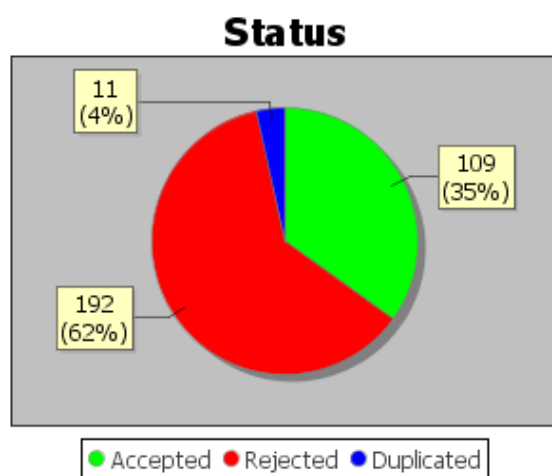


Figura 12. Resultado na Fase de Extração - Figura do StArt

2.3. Análise Geral da Revisão e dos Resultados

Nessa subseção será feita uma análise dos resultados do processo de revisão sistemática, considerando desde o número de publicações resultantes até a multidisciplinaridade das áreas de pesquisa envolvidas nos projetos.

De acordo com a Figura 13, na primeira etapa da pesquisa nas Bibliotecas Indexadas, foram obtidos mais de 7 mil resultados, considerando que foi aplicado um filtro limitando a pesquisa de janeiro de 2010 à fevereiro de 2013. Ao final, após várias etapas de leitura e filtragem criteriosa chegou-se a 109 publicações selecionadas. Esse alto número de publicações resultantes expressam o quanto o tema pesquisado é importante no contexto mundial.

Dentre as plataformas usadas a Web of Science, com 43 publicações e a IEEE, com 38 publicações, se destacaram por proporcionarem maior quantidade de publicações relevantes (Figura 14). As duas plataformas podem ser usadas futuramente como um indicador para novas pesquisas dentro de Sistemas de Suporte à Decisão para Gestão de Resíduos Sólidos.

Fazendo uma análise da origem das publicações aceitas, constata-se na Figura 15) que a China (35), a Malásia (9) e o Grécia (6) são os países com maior número de publicações, relatando os problemas e propostas de solução dentro do contexto da gestão de resíduos. Percebe-se ainda, que o assunto se expande no contexto mundial, pois além

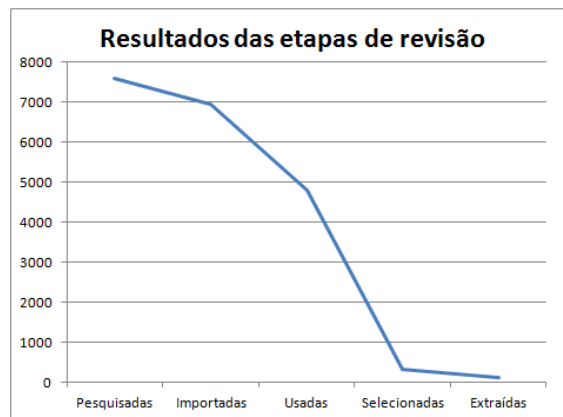


Figura 13. Resultados Finais da Revisão

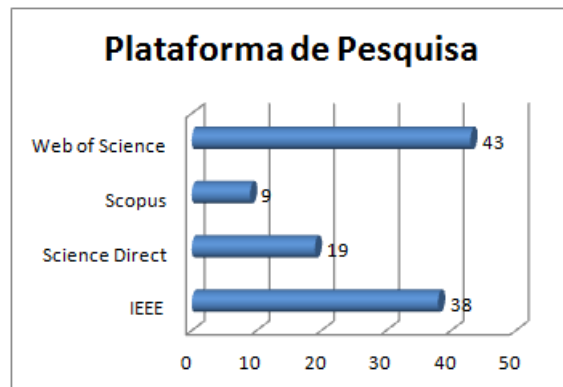


Figura 14. Resultados Finais das Plataformas de Pesquisas

dos 3 países já citados, há pesquisas em outros 33. Uma lista completa pode ser vista no Apêndice B e na Tabela de Sumarização Final.

Para comprovar a abrangência global das pesquisas, são encontradas publicações com estudo abordando mais de um país, outros em um continente específico, como Europeu e Asiático, como nas publicações:

- Publicação que relata casos bem sucedidos de boa governança urbana e o uso do GIS em vários países do mundo [29];
- Publicação que utiliza indicadores de sustentabilidade de 26 países Europeus, com diferentes níveis de desenvolvimento, e descreve um modelo para previsão da geração de resíduos sólidos urbanos usando as Redes Neurais Artificiais [30];
- Revisão sistemática na Ásia sobre o monitoramento do sistema de coleta dos contêineres de resíduos sólidos[25].

Como a gestão de resíduos é uma atividade multidisciplinar, contendo múltiplos critérios de decisão em cada etapa do seu ciclo de vida e envolvendo os três pilares da sustentabilidade (social, ambiental e econômico), ela possui estudos em diversas vertentes (Figura 16). Eles ocorrem em vários países ao mesmo tempo, de forma isolada ou em conjunto, podendo ser projetos na área de previsão da geração, monitoramento do sistema de coleta dos contêineres, gestão de transporte dos contêineres e o aproveitamento máximo de resíduos, entre outras.

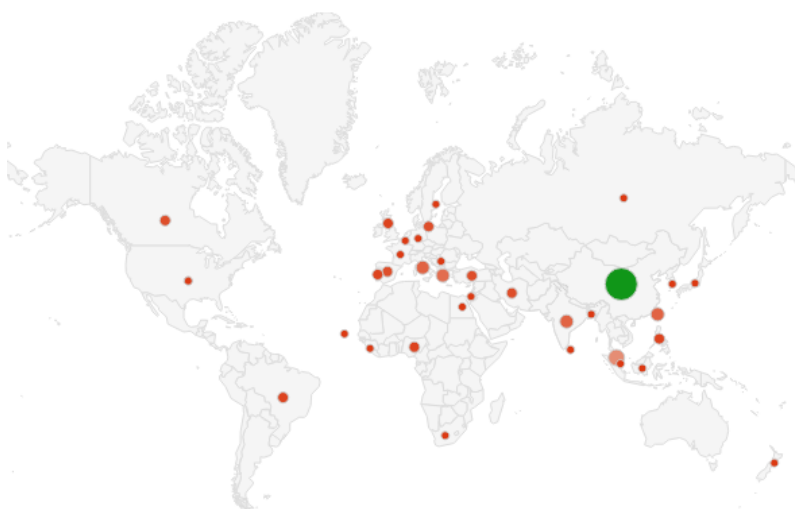


Figura 15. Países X Publicações

Analisando os conteúdos das publicações e seus enfoques foi possível desenvolver um Mapa Mental com todos assuntos abordados (Figura 16 e 17). Foi-se colocado como centro a preocupação com a Sustentabilidade e saindo desse foco diversas vertentes de solução, como a Logística Reversa, Políticas Públicas, a Gestão de Resíduos Sólidos (expandido na Figura 17), entre outras.

Percebe-se que a Gestão de Resíduos Sólidos é uma ramificação da área de Sustentabilidade (Figura 16) e que ele se torna o foco de atenção em outro (Figura 17). Nessa ramificação expandida são encontradas outras ramificações que envolvem a área da Tecnologia da Informação e Comunicação, seja usando uma tecnologia, um algoritmo ou mesmo uma ferramenta, que pode auxiliar as pessoas envolvidas (*stakeholders*) na tomada de decisão e em ações no processo gerencial.

Há publicações que relatam soluções para os problemas de gestão de resíduos sólidos com o emprego de tecnologias de geoprocessamento, geolocalização e processamento de imagens. Essas soluções enfatizam um determinado ciclo, como triagem ou destinação dos resíduos e ainda um determinado tipo de material, como eletroeletrônico ou doméstico. Pode-se citar o artigo [14] que descreve uma solução de rastreamento de resíduos sólidos com uma abordagem de pesquisa que destacam: a preocupação com a Sustentabilidade, a melhoria da Gestão de Resíduos Sólidos como uma solução, os Sistemas de Apoio à decisão usados como suporte no planejamento das rotas e transportes, integrando ainda as tecnologias de RFID, GIS, GPS, Wi-Fi.

A comprovação da multidisciplinaridade do tema da revisão pode ser evidenciada pelos eventos e meios em que foram publicados os artigos selecionados. Foram mais de 70 locais diferentes, entre congressos, conferências, simpósios, jornais, revistas. Esses eventos englobam áreas mais abrangentes, como Computação (Computational Sciences and Optimization (CSO - International Joint Conference), Ambiental (Journal of Environmental Science and Management), Sustentabilidade (Sustainable Technologies (WCST - World Congress) e outras mais específicas, como Geografia Aplicada (Applied Geography), Sistemas de Suporte a Decisão (Control and Decision Conference (CCDC), Fuzzy (Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD).

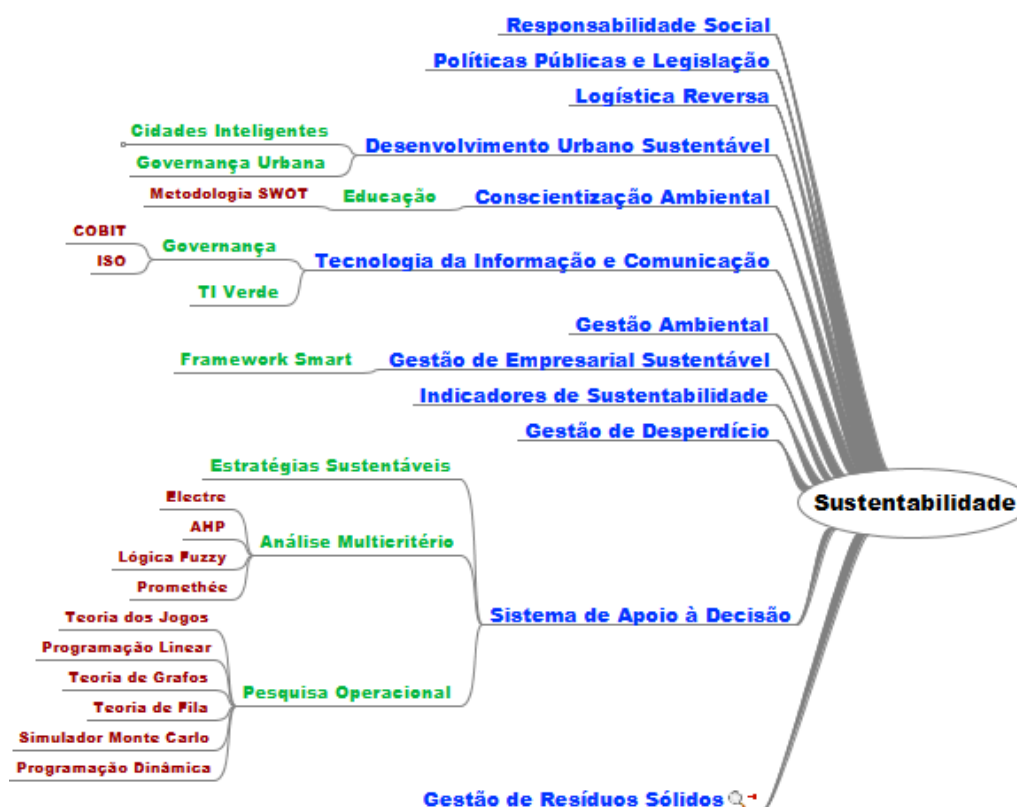


Figura 16. Mapa Mental

3. Análise das Publicações Finais Seleccionadas

As áreas de concentração, consequentemente de maior preocupação mundial, voltadas à Sustentabilidade e Gestão Ambiental, são as relacionadas aos resíduos sólidos urbanos e as de equipamentos eletroeletrônico. Numa primeira análise geral detectou-se que as soluções descritas nas publicações estão atreladas diretamente com os problemas do ciclo de vida dos RSU, desde sua geração até sua destinação final (Figura 18).

Em busca do desenvolvimento sustentável há publicações mostrando que os resíduos sólidos urbanos são uma potencial fonte de energia alternativa e um mecanismo de preservação dos recursos naturais (matéria-prima) [48] [118]. Esses resíduos, resultantes das atividades humanas, são nocivos ao meio ambiente devido ao descarte e tratamento inadequado, porém podem ter sua característica negativa revertida e retornarem a cadeia produtiva, conforme mostrado na (Figura 18), desenvolvida pela autora. Para tanto, são usadas técnicas de compostagem (aproveitando dos resíduos sólidos orgânicos na produção de fertilizantes naturais), sistema de reciclagem (retorno dos materiais descartados como papel, plástico e vidro na cadeia produtiva) e produção de biogás através de dejetos de alto teor energético [49].

Na fase de coleta e destinação dos resíduos são encontradas soluções que integram mais de uma tecnologia e englobam métodos de análise multicritério para auxílio no planejamento das rotas de transporte e definição da destinação adequada (compostagem, aterro, reciclagem, entre outras).

Na concretização dessa revisão, para conhecer e compreender as diversas propos-



Figura 17. Áreas envolvidas da Gestão de Resíduos Sólidos

tas de soluções em diferentes localidades do mundo, são descritas e analisadas as 109 publicações resultantes, procurando-se compará-las e interrelacioná-las.

Inicialmente são analisadas e agrupadas as publicações de acordo com o tipo de processo em que elas se enquadram dentro da Gestão de Resíduos Sólidos. Em suas descrições são destacadas as TICs e os métodos da PO empregados como proposta ou solução. Na sequência é feita uma tabela sintetizada das publicações com os métodos e as tecnologias utilizadas, assim como outros aspectos relevantes para análise.

3.1. Gestão da Coleta, Rota e Transporte

Dentre as propostas adotadas em diversos países, se destaca o uso do **Sistema de Informação Geográfica (Geographic Information System- GIS)**, tecnologia que permite a produção e análise das informações espaciais de forma rápida, clara e flexível, auxiliando os tomadores de decisão em relação ao planejamento da gestão dos resíduos sólidos [14] [31] [8]. Com o avanço da Internet, o **Web-GIS** agilizou a captura, o armazenamento, a integração, a análise, a comparação e a exibição dos dados relacionados as localizações dos contêineres, veículos de coleta, população e destinação final [32] [25].

Em Pallavapuram, na Índia, foi projetado um sistema com o uso das tecnologia **GIS**, **GPS** e incorporação de um **Banco de Dados Geoespacial**, com o objetivo de otimizar o sistema de rota de coleta e transporte dos resíduos [34]. No georreferenciamento pode-se ter com precisão a posição do veículo, sua velocidade e sua direção no mapa. Essas tecnologias combinadas auxiliam a análise dos dados e dos mapas, o rastreamento dos veículos de coleta (que podem ser de diversos tipos e tamanhos) e a criação de um mapa com a rota ideal de trajeto. Também, tem-se nesse rastreamento um controle do

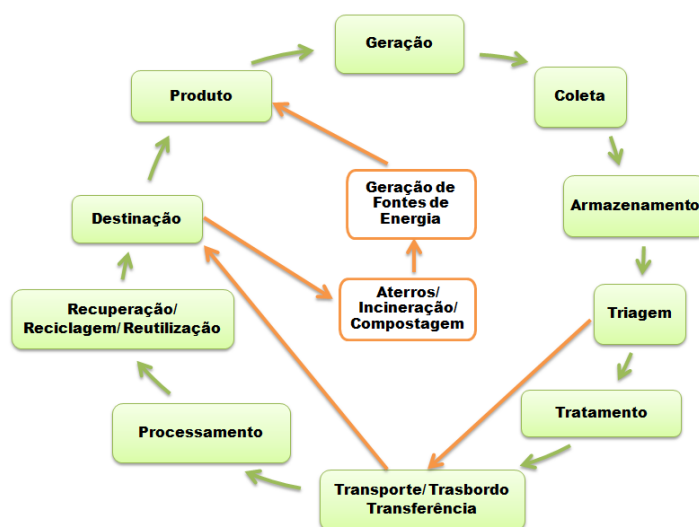


Figura 18. Ciclo de Vida dos Resíduos Sólidos

tempo de viagem e localização dos movimentos de cada veículo. O software **TMS-360** faz o monitoramento e permite a condução do motorista até seu destino [34]. Com o uso do **ArcViewGis**, o mapa base tem o registro das coordenadas dos terrenos conhecidos (latitude e longitude), da rede viária, das fronteiras, dos pontos de coleta e transferências [34]. Esse sistema ainda prevê na destinação estações de tratamento para compostagem e triagem para reciclagem.

No Município de Asansol, na Índia foi usada a **tecnologia GIS** e proposto um **modelo de otimização de rota de transporte** para determinar o custo e a distância mínima, possibilitando uma maior eficiência no transporte e na coleta de resíduos sólidos e otimizando o percurso percorrido do ponto de coleta até sua destinação final [33].

Na região de Hellenic (Grécia), foi projetada uma rede de coleta regional com o objetivo de redução do custo operacional. Foi otimizada o sistema de transferência usando a **Programação Binária**. O **GIS** foi usado para seleção das estações de transferência e aterros dessa rede e a **Programação Não Linear** para minimização dos custos. Existem vários custos, como os das estações de transferência de resíduos, dos veículos de coleta, dos reboques e tratores, das coleta, do transporte às estações de transferência ou aos aterros sanitários. A rede planejada era formada por 53 municípios [102].

O **RFID** também apoia a gestão de resíduos, pois essa tecnologia permite identificar, rastrear e controlar o fluxo dos produtos industrializados e dos seus componentes. Combinado com a **Programação Lógica Restrita**, como um *Framework* de apoio a decisão para a programação da coleta de resíduos [38]. Na publicação de [38] é destacada a rede de distribuição dos resíduos, com as empresas produtores, as empresas processadoras e os depósitos de armazenamento e desenvolvido um modelo que tem várias restrições envolvidas, como por exemplo: o limite de capacidade de processamento e armazenamento das empresas; a separação pelos tipos de resíduos; o tratamento com os resíduos especiais; o equilíbrio entre a capacidade encaminhada para a empresa processadora e seu limite de processamento. Nesse contexto o RFID atua para que as informações estejam atualizadas permitindo o controle desse fluxo de resíduos e dos veículos de coleta, de forma que não

haja excesso ou escassez na empresa de processamento.

As tecnologias integradas de **RFID**, **GPRS** (*General Packet Radio Service*), **GIS** e **GPS** possibilitam o rastreamento mais preciso da rota de coleta, dos veículos e da sua destinação, além de permitir o controle do tempo gasto em cada atividade de coleta e oferecer suporte para a análise dos custos, como o total de investimento necessário para a compra de novos veículos, para o controle do custo operacional (combustível e manutenção) e para o controle dos custos ambientais (emissão de gases tóxicos, poluição sonora) [8]. A tecnologia **GPRS** permite o tráfego de dados com a central de controle em tempo real, através da divisão da informação em diversos pacotes de dados.

Na Itália foi desenvolvido um **modelo heurístico para otimização da rota de coleta** de resíduos, que incorpora dados obtidos em tempo real de modernas tecnologias de rastreamento (**GPS**, **GPRS**, **RFID**) e **sensores volumétricos**. Nessa pesquisa foi desenvolvido um *framework* das tecnologias de rastreamento e validada a proposta através de um **método de simulação**. Através das informações obtidas dos níveis dos caminhões e contêineres visitados é possível criar uma rota otimizada de forma a minimizar a distância da cobertura de coleta, o número de veículos, o tempo total da viagem, as emissões gases, os ruídos e congestionamento [8].

Na cidade de Wuham (China) foi proposta uma plataforma de gestão de reciclagem aplicando as tecnologias **RFID e GPS** nas etapas de coleta, transporte, processamento e reciclagem [43]. Nessa proposta são descritos alguns módulos, como o de coleta e o de classificação dos resíduos, que necessitam de tecnologia de alta velocidade como RFID e uso de **sensor infravermelho**. No módulo de transporte, o RFID ajudará na rede logística permitindo a realização do transporte dos resíduos em menor quilometragem e atendimento de coletas emergenciais. No módulo de processamento será possível identificar a classe em que os resíduos pertencem e a sua possível destinação à produção de energia verde.

Verificou-se também na cidade Ipoh (Malásia) que a melhora do planejamento de *layout* de rotas de transporte de materiais recicláveis pode ocasionar na redução dos resíduos encaminhados aos aterros sanitários e para isso foi proposto um modelo de planejamento usando o software **ArcGis**. Nesse modelo os dados são coletados e digitalizados, depois são realizadas as correções dos erros, padronizações necessárias, classificações e análises por interpolação e agregação para futuramente haver a projeção desses dados no mapa em diversas escalas [42].

Uma abordagem de pesquisa adotada para resolver o **Problema da Rota de Veículos** de coleta usa o **Algoritmo da Colônia de Formiga** com a estratégia de agrupamento (clusterização). Essa proposta foi aplicada na cidade de Chengdu (China) para reduzir a extensão da rota de coleta dos resíduos sólidos municipais. A solução desse problema é coerente com as regras de trânsito que possuem várias restrições, como por exemplo, ruas que somente podem ser percorridas num único sentido, sinais de trânsito, retornos proibidos, etc [39]. A representação da cidade foi realizada através de **grafo**, onde os vértices são os cruzamentos das ruas, becos ou locais de destino dos resíduos e os arcos são as ruas existentes e as ruas que tem sentido único.

Em Bangladesh foi proposto um sistema similar, baseado num algoritmo da **Colônia de Formiga** para determinar a rota de coleta dos resíduos, mas com um dife-

rencial quanto a definição de um número mínimo de veículos e redução da distância da rota, levando-se em consideração algumas variáveis, como: horário de almoço dos motoristas, número de instalações de coleta e de tratamento. Essa proposta faz um comparativo do problema de coleta com o **Problema de Janelas de Tempo** [40].

Duas publicações distintas, uma da Malásia e outra da China, propõem um algoritmo híbrido combinando **Algoritmo Genético e Algoritmo de Pesquisa Tabu** para resolver o problema da rota de transporte [32] [44]. O algoritmo de [32] tem seu planejamento baseado no tripé da sustentabilidade e como objetivo definir adequadamente a rota de transporte dos resíduos, dos pontos de coleta até as instalações de tratamento ou a destinação final (incineração, aterro sanitário). Nessa proposta é enfatizado o projeto de rede de reciclagem. Na proposta de [44] é considerada a rota iniciando no depósito, visitando os clientes e depois retornando ao depósito, considerando a capacidade do veículo, a demanda total de solicitações de coleta e os custos operacionais do transporte.

Nos EUA foi **modelada uma ferramenta de simulação ambiental** usando o software **Arena** capaz de medir fatores de sustentabilidade como a emissão dos gases emitidos pelos veículos [113] [112]. Ela foi projetada com módulos de análise de transporte e logística, processos industriais e sistemas de operações de materiais. Com essa ferramenta é possível definir variáveis e fatores que tem seus valores e estados alterados (início e fim da rota de um caminhão, emissão de gases tóxicos acumulados num determinado período de tempo, distância, consumo, clientes atendidos) e analisar o relacionamento entre os eventos ambientais.

A simulação pode ser estendida para o sistema de logística de transporte de coleta dos resíduos sólidos urbanos, como o *framework* proposto na Itália [77]. Esse *framework* possui três módulos integrados: **módulo de georreferenciamento (GIS, GPS e protocolo SOAP -Simple Object Access Protocol)**, **módulo de Mineração de Dados** (com **Análise Estatística e Redes Neurais**) e **módulo Simulador (Monte Carlo)**.

O *framework* de [77] foi desenvolvido para dar suporte ao planejamento e otimizar as operações de coleta, devido a complexidade que envolve esse processo e sua logística. No planejamento são verificadas as alocações dos diversos tipos de veículos de coleta, de maneira que todos possam ser alocados e explorados da forma mais adequada. Cada veículo é alocado para uma determinada rota, devendo atender a um determinado número de contêineres. Porém, esse veículo pode ficar com a carga máxima no meio do caminho não atendendo a todos os contêineres. Nesse caso, o veículo retorna ao depósito para descarregar os resíduos coletados e volta ao ponto de parada. Um programa faz a simulação do processo de coleta e da alocação adequada dos recursos [77].

No sistema de logística o processo pode ser considerado de duas vias, adiante e reversa, onde deve ser analisado o local da instalação do centro de distribuição e de reciclagem para redução dos custos. Para auxiliar no planejamento estratégico e modelo de localização foi proposto na China um modelo que usa **Algoritmo Genético** [78].

Apesar das novas tecnologias de software, hardware e da difusão da Internet tornarem possíveis o desenvolvimento de sistemas integrados, ainda, existe o problema econômico dos países, onde nem todos tem condições financeiras para compra dessas tecnologias e dos veículos de coleta modernos (equipados com GPS e computadores de bordo). O custo desses sistemas vão desde a digitação dos mapas necessários para o Web-

GIS até o custo da gestão da frota. O custo de uma frota de 300 veículos e das tecnologias de hardware e software necessária para sua gestão é de cerca de 1 milhão de Euros (custo italiano) [14].

3.1.1. Gestão e Monitoramento dos Contêineres

A verificação do nível dos contêineres permite uma economia de gastos de combustível e manutenção devido ao fato do deslocamento do caminhão ser feito somente quando o recipiente estiver no nível apropriado para coleta e consequentemente ter um melhor atendimento das áreas com maior prioridade. Com esse controle do nível dos recipientes pode-se detectar áreas com duas situações distintas, como: as que contêm contêineres sempre transbordando e deverão ser contempladas com um contêiner de maior capacidade; ou áreas em que os contêineres sempre estão vazios e que deverão ter esse ponto de coleta excluído [8] [14].

No caso do norte da Itália, foi implantado em 2002, uma solução de rastreamento dos resíduos sólidos, impulsionada pela falta de espaço nos aterros sanitários para despejo dos dejetos. Nessa solução, contemplou-se também a política da coleta seletiva, com a separação dos resíduos na origem, onde eles são previamente destinados para reciclagem ou compostagem. No primeiro semestre de 2013, esse sistema era usado em cerca de 50 municípios do norte da Itália e 15 no centro-sul. Os sistemas implantados, ROW e LEO, combinam as tecnologias **RFID**, **Web-GIS**, **Wi-Fi**. O sistema de coleta seletiva é de porta-a-porta, com o uso de diversos contêineres coloridos (cada cor representando uma classe de resíduo) e o contêiner para resíduo especial (de compostagem). Os contêineres são equipados com uma *tag* que tem o código que identifica o usuário e quando ele é esvaziado esse número é registrado. O leitor da *tag* é fixado nos caminhões de coleta ou então usa-se um leitor de mão portátil. As centrais de controle que fazem a gestão das rotas e coletas conseguem identificar com esse sistema os registros de contratos dos moradores, sua validade, quem solicitou a coleta, quem não precisa de coleta e ainda cobrar tarifas diferenciadas de acordo com a quantidade de resíduos gerados. O sistema LEO cria a rota dinamicamente, fazendo as leituras das *tags* e recebendo as informações da central, como por exemplo informações de áreas turísticas não habitadas e que portanto não necessitam de coleta. O sistema também recebe solicitações de coleta de usuários e atende aos Ecopontos programados. Existem situações descritas na coleta seletiva em que a *tag* do RFID é substituída por sacos com código de barra [14].

Em Pudong na China, foi proposto um método para auxiliar o planejamento da rota de coleta e destinação dos resíduos, combinando **Algoritmos Genéticos e Algoritmos de Simulações**. O método adota três estratégias diferentes de coletas: coleta todos os recipientes sem levar em consideração o nível em que eles se encontram; coleta somente os recipientes cujo volume está no nível máximo; coleta somente os recipientes cujo conteúdo tem alto valor calórico (energético) [19]. A destinação do resíduo baseado no teor energético (valor térmico - fórmula matemática que considera o calor dos resíduos), onde o conteúdo desse contêiner é encaminhado para incineração (valor energético alto) ou para o aterro (valor energético baixo). Essa proposta de sistema de suporte à decisão manipula as informações geográficas e espaciais (**GIS**), como por exemplo, o mapa da cidade, as áreas de estacionamento dos veículos de coleta e as estações de transferência.

Os **sensores inteligentes** passam a identificação e o peso do contêiner para serem processados pelo **algoritmo genético**. Também há a preocupação quanto a dissipação de calor durante o percurso do caminhão, procurando-se minimizar o consumo de combustível. Esse **algoritmo genético e de simulação** trabalha com algumas restrições como garantia de que o ponto de coleta seja visitado pelo menos uma vez, verificação do limite de peso e volume de cada viagem.

Na China faz-se investigações quanto ao total de resíduo produzido e coletado, a quantidade coletada em cada ponto e a identificação das classes de materiais presentes nos resíduos [19] [111]. Para a realização dessa investigação há contêineres com **sensores de carga** [19]. Na publicação de [111] é descrito um programa de separação dos resíduos na origem, piloto em 8 cidades na China, considerando como destinação a reciclagem, as características e valor calórico dos resíduos.

O uso das tecnologias de RFID, GIS, GPRS e GPS em conjunto com o **Microprocessador Programável** e os **Sensores Volumétricos**, descrito na publicação de Faccio et al 2011, permite a minimização da distância total percorrida, reduzindo o número de veículos em movimento e os impactos ambientais. Além do controle em tempo real dos veículos, o controle dos níveis de cada contêiner coletado e possibilita a tomada de decisão sobre a ação de esvaziamento ou não desses recipientes.

Na Malásia foi proposto um sistema integrado que combina as tecnologias **RFID, GPS, GIS e GPRS e câmeras** para a gestão da coleta e monitoramento de caminhões [25] [26] [15]. Sua performance comparada com sistemas existentes, segundo os autores do projeto, foi considerada melhor em relação a velocidade de transmissão e precisão de dados, além de sua confiabilidade. Nesse sistema, os caminhões de coleta são equipados com **leitor RFID** que rastreiam recipientes com *tags* RFID. Essas *tags* têm informações de identificação dos clientes e estão armazenadas em um servidor de **banco de dados** na central de coleta. Os leitores registram a hora e local exato onde cada recipiente de lixo é esvaziado. Todos os dados são atualizados depois de cada período de coleta e gravados nas estações centrais de monitoramento. O **GPS** é responsável por fornecer as informações de localização do caminhão de coleta e através do canal de comunicação **GPRS** o pacote de dados é enviado ao servidor central e atualizado automaticamente [36]. Esse pacote contém uma foto montada do cenário de coleta, com imagens capturadas do contêiner cheio e depois do contêiner vazio [26] [15].

Os pesquisadores da proposta da Malásia propuseram soluções para o processamento das imagens dos contêineres. Com as fotos dos contêineres faz-se o **Processamento da Imagem** com o **método Otsu**, que pode ser usada no controle e monitoramento da capacidade do contêiner, permitindo-se estimar e prever a quantidade e o volume dos resíduos [25] [28] [15]. Em [17] foi implementado o processamento de imagem usando o algoritmo **Multi Layer Perceptron (MLP)**, enquanto que em [28] foram usados e comparados os desempenhos dos algoritmos MLP e o **K-Vizinhos Mais Próximos (KNN- *k*-Nearest Neighbor)** no processamento e na análise das imagens dos contêineres e determinação do seu nível como baixo, médio, alto ou transbordando.

Em Portugal foi desenvolvida uma proposta que usa a tecnologia **GIS** e o método de **Programação Linear Inteira Mista Multiobjetivo** para definição de locais de Ecopontos. O sistema de Ecopontos é uma forma de separação dos resíduos na origem vi-

sando a coleta seletiva e reciclagem. Esse modelo de apoio à decisão identifica locais ideais para a instalação de multicompartimentos de resíduos e as suas respectivas capacidades. Ele procura manter o equilíbrio entre a quantidade de compartimentos, o total da população e sua distribuição no espaço urbano, de modo que a menor quantidade de compartimentos atenda ao maior número de pessoas. Esse equilíbrio visa a redução do custo total de investimento e minimização da distância entre a população e os compartimentos de coleta [18].

Em Ahmedabad (Índia), foi proposto por Purohit and Bothale 2011 um protótipo para monitoramento da coleta, que usa além do rastreador de localização **GPS**, tecnologias **GIS** e **RFID**, e módulo **GSM** para transmissão via *Wireless*. Esse monitoramento é realizado em tempo real pelos administradores, por meio de uma aplicação *Web* e lhes permitem decidirem pelo replanejamento das rotas e realocação dos contêineres. Essa ferramenta prevê o mapeamento dos locais dos contêineres, estatística do peso e quantidade (diária, semanal e anual dos resíduos) por ponto de coleta e controle dos horários das coletas.

A tecnologia de **RFID** juntamente com uma **Rede Wireless** tem sido cada vez mais usada no monitoramento e coleta de contêineres de lixo [25]. Com elas é possível capturar os dados das *tags* e transmiti-los para um sistema de computador, sem ter nenhuma conexão física, de forma que se tenha em tempo real o monitoramento e rastreamento dos caminhões e dos contêineres coletados [36].

Na Itália, uma arquitetura é proposta para otimização do processo de transferência de resíduos através dos dados obtidos pela rede de **sensores sem fio (wireless)** acopladas nas caixas de lixo (contêineres) [41]. Ela possibilita o controle e monitoramento remoto dos resíduos através das suas camadas: camada dos sensores (controlam a capacidade de armazenamento - quando cheio envia dado para a central); camada de comunicação a longa distância (**GSM/GPRS**) e a camada dos **servidores de armazenamento**. No final é exibido o melhor caminho de coleta.

Em Portugal, o sistema WECO foi apresentado em Gomes et al. 2012. É uma arquitetura que monitora e controla automaticamente os níveis das caixas subterrâneas (pontos de coleta de recicláveis) através de uma **Rede com Sensores Wireless**, da tecnologia GPRS e do envio dos dados para o **servidor remoto** através do módulo **GSM** (*Global System for Mobile Communications*). Quando a caixa está no nível de coleta a central é alertada automaticamente por meio do **sensor ultrassônico** e evita-se que seja perdido tempo com a vistoria pessoal desse ponto de coleta.

3.2. Reciclagem e Classificação de Material

A reciclagem e a destinação adequada dos resíduos pode ser considerada um dos grandes desafios e essencial dentro da gestão de RSU [110] [115] [32] [42] [43] [110] [111]. Os pesquisadores identificaram que o sucesso da reciclagem depende da participação da população, no qual é influenciado pela proximidade e facilidade de acesso dos caixas de depósitos ou contêineres para o recebimento desse material reciclável [18].

Na publicação de [110] é descrita a reciclagem como uma das opções de destinação dos resíduos e apoio na gestão dos resíduos, já em [115] são analisadas publicações que relatam os impactos ambientais quanto ao tratamento e destinação pós

consumo dos resíduos plásticos na Europa. Essa análise é feita usando **Avaliação do Ciclo de Vida**.

Na publicação de [121] são descritos os impactos causados com os incentivos de reciclagem dados em Taiwan e no Japão. Foi usado um modelo com dados do comportamento familiar de 18 cidades. Também existem publicações que evidenciam como ocorre o processo de reciclagem e os custos envolvidos (econômico e ambiental), como o caso da reciclagem do níquel [122]

Em alguns países há ressalvas e discriminação quanto ao sistema de reciclagem, devido à existência do trabalho informal dos catadores de lixo e da criação de uma imagem negativa e de exclusão [45] [106]. A falta de estrutura física adequada para a coleta seletiva e a falta da orientação das pessoas que sobrevivem desse serviço são considerados fatores de risco à saúde pública e a saúde desses trabalhadores. A ausência de informações desses trabalhadores traz riscos para a atividade informal de coleta, pois produtos tóxicos e perigosos podem ser manipulados erroneamente gerando prejuízos ao meio ambiente. A questão estético e social também são pontos negativos do sistema de coleta informal.

Na Filipinas, Paul et al. 2012 relatou o caso de pessoas (mulheres, homens, idosos e crianças) que sobrevivem sustentadas pelo lixo coletado em “Lixão” e é abordada a formalização desse trabalho com a criação de cooperativas de reciclagem, que podem gerar uma forma digna de trabalho.

A adoção da reciclagem é uma questão de tomada de decisão, sendo desenvolvidos métodos de análise, como no caso da Indonésia onde foi realizado um estudo sobre a visão do trabalho informal de reciclagem no país. Nesse estudo foi usado o método analítico **Análise de Fluxo de Materiais** e questionário, onde foi destacada a responsabilidade e dificuldade de tomada de decisão do gestor público na inclusão ou não a reciclagem [45].

Para auxiliar as cooperativas de reciclagem e seu processo de separação de material são usadas esteiras elétricas para separação do material e desenvolvidas técnicas de otimização. O processo de triagem é considerado importante para o aumento da quantidade de resíduos recicláveis e sua otimização pode ser realizada através da classificação automática dos materiais, como das garrafas plásticas PET. Esse mecanismo inteligente deve reconhecer e classificar a imagem da garrafa plástica.

A TIC e os métodos de otimização da PO também são aplicados na classificação de material potencial para a reciclagem. Foram propostos em três publicações distintas, sendo duas da Malásia e uma do Canadá, algoritmos **Máquina de Vetores de Suporte** (*Support Vector Machines-SVM*) para classificar os materiais coletados através das suas imagens, podendo ser classificado como garrafa PET ou recipiente *Polycoat* [79] [80] [81].

Na proposta da Malásia é incluída a **Análise Morfológica** para detecção do objeto (análise da estrutura e forma) para classificar como PET ou Não PET [81], enquanto que os métodos do Canadá envolvem uso de **camêras e histograma de intensidade de pixels** [79] [80]. Para aumentar a eficiência da classificação, estudo de [79] usa **programação de circuitos lógicos**.

Ainda podem ser usadas alternativas de recuperação de material, como os da construção civil. Foi proposto por [120] um **sistema de apoio à decisão Web** que ge-

rencia os resíduos oriundos da construção e demolição, objetivando minimizar o custo (fim de vida útil ou pós uso) e maximizar a recuperação e reaproveitamento de materiais. O sistema denominado DeconRCM utiliza a otimização matemática **Programação Linear Inteira Mista** e diversas tecnologias como **Web, georreferenciamento e banco de dados**. Esse sistema faz estimativa das quantidades dos resíduos divididos em 21 grupos, desde concreto até vidro e fornece alternativas de destinação, que pode ser aterros ou instalações de tratamento), de acordo com critérios econômicos e ambientais.

3.3. Administração Pública e Desenvolvimento Sustentável

Nessa revisão também foram detectados modelos, ferramentas e aplicações das TICs e PO na **Gestão na Administração Pública** e Desenvolvimento Sustentável.

Com foco nas questões da boa Governança Urbana há publicações que abordam o quanto o uso da **GIS** pode contribuir para essa área. A tecnologia GIS auxilia no processo de tomada de decisão na gestão e planejamento municipal, possibilitando uma abordagem integrada da prestação de serviço, abrangendo temas como redução da duplicidade das obras, melhorias da receita, gestão das propriedades urbanas, tributação de imóveis, controle do trânsito e do transporte, planejamento e desenvolvimento urbano (plano diretor), gestão de resíduos sólidos, controle das favelas, *design* urbano, mobilização dos recursos financeiros, zoneamento, uso e gestão da terra, infraestrutura e gestão de serviços públicos (água, esgoto, iluminação pública), desenvolvimento de projetos e transparência das informações [29].

A tecnologia O **GIS** permite que as interações espaciais sejam mais compreensíveis não somente aos especialistas em gestão de resíduos sólidos, mas também para os tomadores de decisão da área de gestão pública [49].

Segundo [29], a real potencialidade do **GIS** ainda é pouco explorada na tomada de decisão e aplicada de forma isolada e não integrada na gestão municipal. Os autores descrevem boas práticas do GIS em municípios da Índia, África e África do Sul, USA/Canadá e Coreia, onde ele é usado como ferramenta importante no planejamento, na gestão estratégica, na integração e na prestação de contas dos serviços públicos.

As TICs também podem atuar no controle de desperdício dos recursos naturais e controle das empresas poluidoras. Na cidade de Donguan (China) foi projetado e implementado um sistema de **monitoramento ambiental on-line** que fiscaliza empresas fontes de poluição. Esse sistema usa uma arquitetura que tem como base um **Banco de Dados Geoespacial**, um Banco de Negócios e a Legislação referente ao assunto. Ele possui uma camada de certificação e de controle dos usuários e trabalha com o conceito de **Programação Orientada à Objeto e Desenvolvimento em Camadas**. Devido ao fato de ocorrer o transporte de resíduos entre províncias e municípios chineses usa-se ainda as tecnologias **GPS** e **WebGis** [35].

Na área de tratamento e gestão de resíduos sólidos há diversas aplicações com análise multicritério e essas fazendo uso de diferentes métodos. Segundo revisão feita por [52], o **ELECTRE III** é o mais aplicado nessa área e em seguida o **AHP**.

Nessa revisão foi detectado o uso de **análise com multicritério AHP** em aplicações similares de análise e projeção ambientais em países Europeus, como o caso da Alemanha (Stuttgart) [46] e da Espanha (Madri) [47]. No primeiro caso é uma **ferra-**

menta de simulação, que combinada AHP com GIS, **Sistema Dinâmico** e visualização **3D** para auxiliar os gestores públicos na identificação do nível e equilíbrio do desenvolvimento sustentável das áreas residenciais urbanas, de acordo com alguns indicadores sustentáveis. Essa ferramenta projeta cenários futuros das construções, permitindo análise de tendências e conduzindo os tomadores de decisão no planejamento de políticas públicas futuras [46].

No segundo caso, a técnica de avaliação multicritério **AHP**, aliada ao **GIS** e ao modelo baseado em **Sistema Dinâmico** mostrou-se como uma alternativa eficiente na avaliação do uso do solo residencial, comercial ou industrial. Nessa proposta de simulação foram avaliados os impactos nos cenários sob o ponto de vista social, econômico e ambiental numa projeção na linha do tempo de 2000 até 2020 [47]. Essas **simulações** aliadas ao **GIS** permitem a análise de cenários de crescimento urbano, onde há preocupações relacionadas aos impactos ambientais devido a falta de controle e planejamento de políticas ambientais [46] [47].

Na Nova Zelândia foi desenvolvido um *framework* para a gestão dos negócios de forma sustentável independente do domínio, denominada SMART System. Embasada nos conceitos do triple da sustentabilidade possui uma arquitetura com várias camadas, integrando conceito de *workflow*, com **simulação** de vários cenários e roteiros, com modelagem e elaboração de relatórios sustentáveis [2].

Há métodos aplicados na gestão de resíduos sólidos que usam **Análise do Custo Benefício**, como o modelo de [51]. A ferramenta WAMED descreve um modelo eficiente na área de gestão de resíduos sólidos baseado na **Análise de Custo Benefício**, servindo como suporte aos gestores do setor público. Nela os custos são analisados em itens agrupados em diversas categorias, como despesas de capital, custos operacionais, custos para reparos de rotina, custos para danos atuais causados pela poluição do meio ambiente e custos de impostos ambientais, entre outros [51].

Também foi desenvolvido por [105] um modelo de avaliação de estratégias e tecnologias adotadas no sistema de gestão de resíduos sólidos de acordo com a **Análise do Ciclo de Vida** e o tripé da sustentabilidade. Esse modelo destaca a aceitação da sociedade, custos financeiros, a adoção do modelo como apoio à decisão e não uma ferramenta de decisão. São descritas diversas alternativas de tratamento e eliminação como: instalações de recuperação de materiais, digestão anaeróbia (produção de biomassa e recuperação de energia), compostagem, incineração, tratamento e reutilização das cinzas, reciclagem, aterro, coleta e transporte.

Baseada na **Teoria dos Jogos** foi desenvolvida por Ning et al. 2010, uma análise do processo de logística da gestão de coleta dos resíduos sólidos urbanos, onde se propõe manter um equilíbrio de interesses entre os envolvidos (governo, população e empresas operadoras) .

O interesse do governo também está relacionado com a reciclagem e com os incentivos e taxas que possam ser repassados para a população. Em [83] usou-se a **Teoria dos Jogos** e o **Equilíbrio de Nash** para ponderar e determinar os níveis ideais de incentivos e taxas, que estão diretamente relacionadas aos lucros dos fabricantes e recicladores.

Na Grécia, também é abordada a **Teoria dos Jogos** por Karmperis et al. 2013, na análise de tomada de decisão, quando há várias partes interessadas. Relaciona-se a

gestão de resíduos sólidos com o Jogo da Barganha e destaca-se que a gestão é sustentável somente quando são considerados todos os aspectos: ambiental, social e econômico.

Segundo [101] os métodos de otimização fuzzy podem ser usados como mecanismos de apoio a gestão ambiental dentro de contexto de incerteza, onde a incerteza pode levar ao aumento da complexidade e até decisões insensatas. Ele faz um estudo de **Programação Linear Fuzzy Generalizada** para tratar das incertezas, comparando as soluções obtidas com o **método Monte Carlo**. Ele ainda salienta a aplicação desses métodos em decisões que tenham que lidar com fatores de incertezas sociais, econômicos e ambientais, incertos e dinâmicas.

Na Bélgica, foi incentivada a diminuição do lixo doméstico com a meta de 150kg per capita de 2010 a 2015. Através do modelo de **Regressão Logística Binária** foram identificadas as variáveis (fatores-chave) que ajudam a alcançar a meta de 150kgs, como: renda média, o custo anual da coleta seletiva, a frequência de coleta, caminhão de coleta para coleta de resíduos orgânicos [85].

Um modelo foi proposto em Taiwan (China) por Chen 2010, que usa a técnica de **Análise por Envoltória de Dados (AED)** e o método **AHP** para auxiliar os gestores públicos na avaliação da gestão dos resíduos, onde a AED é usada na fase de decisão e o AHP é usado para determinar o fator de ponderação dos processos de geração, coleta e triagem. Ele compara regiões urbanas e rurais e analisa o influência da urbanização sobre a geração de resíduos. É descrito que o processo de triagem manual realizada na origem, nas residências urbanas e rurais se mostrou mais eficiente.

A preocupação com o desenvolvimento sustentável é salientada na revisão sobre negócios sustentáveis de [3], abordando questões complexas relacionadas a esse assunto, assim como estratégias adotadas.

Conforme é descrita na Revisão de [49], nos países mais desenvolvidos, como os países Europeus, há uma maturidade maior na gestão de resíduos sólidos e na aplicação de diversas tecnologias como modelos de simulação, modelos de otimização e sistemas especialistas e de suporte a decisão. Devido à conscientização ambiental desses países há uma constante melhoria nos programas de gestão de resíduos, de consumo sustentável, de reciclagem e reaproveitamento, de criação de energia alternativa e de compostagem.

Na Espanha foram comparadas diversos cenários alternativos para a gestão de resíduos sólidos e avaliado seu desempenho ambiental através do método **Avaliação do Ciclo de Vida** [118]. Nesses cenários contemplavam a coleta seletiva, diferentes modelos de coleta e tratamento como biogás, compostagem e aterros sanitários (com e sem recuperação de energia).

Na publicação de [117] é descrito o crescimento da geração dos resíduos sólidos nos últimos anos na Índia devido ao aumento da taxa de crescimento populacional e de seu consumo, quais são características dos resíduos, os meios de coleta e disposição final. Nesse estudo ele destaca a adoção de diversas estratégias para minimização dos problemas e destaca que o sucesso da gestão dos resíduos depende do envolvimento e conscientização de todos, municípios, ONGs, empresários.

Em alguns países menos desenvolvidos, os problemas de GRSU iniciam-se na operacionalização da coleta, podendo ser realizados pelo poder público ou privado. Em

pesquisa realizada na cidade Ilorin na Nigéria, usando o **Modelo de Regressão e Análise Binária**, os resultados relatam que o envolvimento e participação das empresas privadas no processo de limpeza das áreas públicas, envolvendo a coleta e formalização da reciclagem, podem ajudar na eficiência da gestão dos resíduos, desde que essas empresas tenham suas atividades monitoradas pelo governo. É destacada na publicação, a necessidade de criação de estratégias de acordo com a realidade local e o envolvimento de todos, incluindo a população, com campanhas ambientais e controle de satisfação de serviço [50].

3.4. Métodos de Previsão e Planejamento

Como o foco dessa Revisão Sistemática está diretamente relacionada ao Suporte à Decisão, percebe-se que dentre as publicações há um destaque para os algoritmos e métodos capazes de gerar projeção futura (previsão) de um determinado contexto. Essas previsões geram alternativas para a tomada de decisão e com base em dados históricos identificam relações entre elas, como no caso da gestão de coleta, identificam relação entre o total da população, com o seu nível de consumo, seu PIB e a quantidade de resíduos gerados.

Com o auxílio dos modelos e técnicas de previsão, pode-se mesmo em condições incertas, criar um planejamento do fluxo dos resíduos e um plano de expansão da capacidade das instalações de aterros sanitários, incineradores e instalações de compostagem [53].

Com o uso dos **Métodos de Análise Multicritério**, a previsão torna-se viável, até mesmo num cenário de incertezas e em planejamento de longo prazo. As pesquisas de [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60] [125] relatam o uso desses métodos de previsão no planejamento do fluxo de alocação de resíduos sólidos urbanos durante um período de 15 anos. Foram criados vários modelos para a análise de múltiplas variáveis. Nessa pesquisa, o planejamento envolve os resíduos de várias cidades e como destinação final um aterro e duas instalações de transformação (reciclagem, incineração e compostagem). A alocação dos resíduos dessa rede é projetada para se ter um custo mínimo nas instalações e transporte. Essas publicações usam diferentes modelos como *fuzzy-queue programming*, *stochastic linear fractional programming*, *Fuzzy-Queue-Based Interval Linear Programming*, *inexact two-stage chance-constrained linear programming*, *Dual inexact fuzzy chance-constrained programming*, *inexact dynamic programming model*, *inexact fuzzy-queue programming model*.

Apesar de haver a preocupação atual sobre o montante gerado de resíduos sólidos urbanos e da sua taxa de crescimento anual, também existe a preocupação futura do quanto essa taxa poderá aumentar. Foram encontradas nas publicações pesquisas e esforços para a previsão dessa quantidade e que remetem a reflexões: planejamento da destinação das verbas, adequação das técnicas de coleta, adequação das estruturas de tratamento e de destinação dos resíduos sólidos, planejamento de novas instalações de transferência e destinação [53] [30].

Foi projetado para Pequim (China) um modelo de previsão da geração de resíduos sólidos no período de 2011 a 2015. Esse modelo otimizado de **Regressão Vetor de Suporte** juntamente com a **Programação Linear Inteira Mista**, com intervalos de parâmetros mistos, prevê o fluxo dos resíduos e sua alocação para as instalações (tratamento, transferência e eliminação) de acordo com sua capacidade. Nessa publicação são

comparadas as funções do *kernel* (Linear, Radial, Base Radial e Polinomial) e analisados os dados históricos, que podem ser incertos ou incompletos, prejudicando a precisão dos resultados de previsão. Esses modelos consideram alguns elementos complexos e dinâmicos ao longo do tempo, como: população, nível de consumo e geração de resíduos, além de fatores econômicos e sociais relacionados [53].

Um sistema de suporte à decisão foi desenvolvido usando a tecnologia **GIS** para simular tendências e analisar o fluxo dos resíduos sólidos urbanos no período de 2007 a 2015. Ele foi modelado no **software de simulação Stella** usando como indicadores a taxa de crescimento anual da população, a geração per capita e a composição dos resíduos. Os resultados da modelagem foram mapeados para mostrar a distribuição espacial dos resíduos nos cenários de reciclagem, de compostagem e de geração por zona [76]. Esse sistema apoia o planejamento da gestão de resíduos sólidos urbanos, permitindo fazer várias previsões, como estimativa da geração dos resíduos até 2014, verificação da composição dos resíduos, estimativa do montante gerado de recicláveis e de resíduos de compostagem das residências, dos comércios e mercados, estimativa de quanto será coletado e tratado.

As simulações identificam cenários com possíveis soluções para o problema do grande volume de dejetos despejados nos lixões, como programas de reciclagem e compostagem. Com as observações do fluxo dos resíduos e análise das diversas relações de causa e efeito das variáveis (aumento da população afeta a taxa de geração de resíduos) é possível criar novos projetos, como de conscientização em áreas que tiveram resposta positiva a reciclagem ou mesmo implantação de novas instalações de tratamento e de compostagem [76]. A análise estatística e método **T-Test** foi usado como validação das propostas de [77] [76].

Foi realizada uma pesquisa para previsão da geração de resíduos sólidos urbanos usando algoritmos de **Redes Neurais Artificiais**. Foram usados como dados treinamento, teste e validação os indicadores de sustentabilidade de 26 países Europeus. Para a geração do modelo de previsão foram comparados dois métodos de implementação de **Redes Neurais**, o *General Regression Neural Network* (GRNN) e o *BackPropagation* (BP). A saída resultante é a quantidade de resíduos sólidos urbanos por habitante (quilo/per capita) [30].

Em países em desenvolvimento essa projeção é prejudicada pela falta de dados estatísticos e para sanar esse problema são usadas as técnicas de **Aprendizado de Máquina** [30].

Em Hong Kong [61], procurou-se usufruir da previsão de resíduos não somente para o planejamento futuro, mas também para descobrir as causas de fatos já ocorridos e que influenciam essa geração de resíduos (dados explicativos). Nesse estudo foi usado um **Modelo de Auto Regressão** com **Modelo de Séries Temporais** para previsão da quantidade gerada de resíduos até 2036 e descoberto as relações causais hipotéticas entre os fatores de previsão da geração de resíduos (comercial, doméstico e industrial).

Em Délhi (Índia) foi feita a projeção do montante gerado de resíduos no período de 2007 até 2024. Essa projeção, baseada na **Programação Parametrizada Fuzzy** e **programação multiobjetivo**, considera os problemas relacionados com incertezas da quantidade e composição dos resíduos gerados e as restrições que envolvem a capacidade das instalações de tratamento e disposição, como restrições de riscos à saúde, de

custos e da destinação do resíduo de acordo com tempo após coleta [65].

Foi aplicado um modelo de **Programação Linear Inteira Mista** (*interval-parameter semi-infinite fuzzy-chance-constrained mixed-integer linear programming-ISIFCIP*) no planejamento a longo prazo da gestão de resíduos. Nesse modelo, existem múltiplas incertezas de decisão e a definição do fluxo de resíduos de vários distritos para instalações e em múltiplos períodos. Entre as instalações, há a opção de tratamento e destinação de compostagem, aterro sanitário e reciclagem. Esse modelo procura resolver os problemas relacionados a minimização de custo, seleção da expansão, destinação adequada para eliminação dos resíduos e desvio do resíduo para prolongar a vida útil do aterro. Há diversas restrições relacionadas a tomada de decisão como, as taxas de geração, objetivos de desvio e capacidade da instalação [66].

No planejamento de programas de reciclagem é importante verificar a sua viabilidade de implantação em uma determinada cidade. Em Israel foi desenvolvido modelo que prediz se a reciclagem será ou não economicamente eficiente no município [123]. Foi utilizado um **base de dados** com mais de 30 parâmetros diferentes de 79 municípios e aplicada uma **Análise de Regressão**. Como resultado é previsto se a reciclagem será economicamente eficiente ou não no município. Esse modelo pode ajudar os gestores no planejamento de políticas públicas.

O modelo de **Regressão Linear Simples** é usado em publicação do Reino Unido para prever os valores de movimentação dos materiais recicláveis, como vidro, papel e plástico [62].

Foi proposto por [63] um modelo otimizado que usa a **Teoria de Grey** para projeção da produção de resíduos. Esse modelo procura minimizar os erros de outras técnicas e modelos tradicionais, como **Algoritmo Genético e Fuzzy**.

O método **AHP** também foi usado na China pela indústria, para avaliação da qualidade e resistência das peças de carregadeira e sua projeção futura para reutilização e reciclagem [116].

3.5. Determinação dos Locais de Destinação dos Resíduos

A determinação do local de instalação dos aterros sanitários deve seguir aos requisitos legais e pode ajudar no controle da poluição e na redução dos riscos ambientais. É um processo de decisão que leva em consideração múltiplos critérios como hidrogeologia, uso da terra, proximidade de centros urbanos, aceitação da população e ecossistema envolvido [67].

Entre as aplicações com a análise multicritério estão as que envolvem a previsão da gestão de resíduos, projeção de cenários, definição da escolha da localização das instalações dos aterros sanitários ou das estações de tratamento para os respectivos tipos de resíduos (perigosos, equipamentos eletroeletrônicos e resíduos sólidos urbanos).

Na Turquia, foi desenvolvido um modelo para auxiliar os tomadores de decisão sobre os possíveis locais de centros de tratamentos de resíduos industriais perigosos. Esse modelo faz uso de **Análise Matemática Multiobjetivo** e tecnologia **GIS**. São analisadas as rotas e localização dos centros de tratamento, os centros de reciclagem e centros de descarte. São considerados os custos e riscos [119].

O mapeamento e seleção de potenciais locais para a implantação de aterros sanitários é realizado usando-se um modelo de **Avaliação Multicritério Espacial e GIS**. A seleção é um processo complexo e que considera critérios relacionados aos aspectos ambientais (características do solo, declínio da terra, águas subterrâneas, geologia), aos aspectos econômicos (rede viária, distância das áreas residenciais, acesso ao local, distância dos centros de geração de resíduos, rios e rodovias) e aos aspectos sociais (proximidade com aeroportos, sítios arqueológicos) [68] [69] [70]. Este sistema foi aplicado no Egito [69], em Serra Leoa [68] e no Irã [70], onde houve a importação de informações dos mapas e fizeram uso de **Métodos de Análise Multicritério**, como método **AHP** [68] [69] e **Fuzzy** [70].

A seleção do local apropriado para instalação do aterro requer cuidado e deve levar em consideração diversos atributos, pois o processo de escolha é complexo. O método de **Chang's Fuzzy AHP** baseada em múltiplos atributos pode ser usado para auxiliar a tomada de decisão. Esse método compara pares e atribui pesos para os critérios de decisão e no final ele coloca em ordem de preferência as alternativas de locais [67].

Em Istambul, foi desenvolvido um algoritmo usando a análise **Fuzzy Multicritérios** e **AHP** para determinar o melhor método de disposição e local de eliminação dos resíduos sólidos. Entre as alternativas de escolha estão as opções de aterro, compostagem, incineração convencional e combustão RDF. Nessa publicação são tratados os critérios e pesos considerados subjetivos e expressados em termos linguísticos, com diferentes graus de variação como muito alto e alto [64].

A determinação do local para instalação de uma planta de incineração de resíduos sólidos urbanos deve atender aos requisitos governamentais e ao tripé da sustentabilidade, onde há multicritérios para avaliação dos locais candidatos. Usa-se o **GIS** e o **AHP**, onde o GIS faz a análise dos dados espaciais e identificação dos locais candidatos e o AHP faz a avaliação dos múltiplos critérios envolvidos, evitando subjetividade no julgamento e escolha [67] [73] [71] [72]. O programa Matlab pode ser usado para acelerar o processo de escolha [67].

Na publicação de [74] foi usado o modelo de **Processo Analítico de Rede (ANP)** para resolver o problema da definição dos locais de aterro. É descrita nessa pesquisa que existem diversas características positivas e negativas a serem consideradas (distância de área residencial, rota de transporte, custos, clima, declínio do terreno) e muitas delas precisam ser relacionadas.

Nas questões relacionadas a localização e dimensionamento das estações de tratamento e transferência dos resíduos, antes do envio aos incineradores, várias pessoas envolvidas (*stakeholders*) e as decisões devem levar em conta as expectativas de todos. Nessa situação aplicam-se as **Técnicas Multiobjetivos**, procurando minimizar os conflitos relacionados as questões ambientais e econômicas, reduzindo o número de soluções para facilitar a convergência e chegar numa solução ótima [75].

Foi apresentada uma proposta de determinação das localizações e dimensionamentos das estações de transferências dos resíduos sólidos usando **Programação Inteira Mista**, método **Fuzzy Multiobjetivo** e tecnologia **GIS** [75]. É destacado o conflito de objetivos envolvendo a minimização do impacto ambiental (poluição) e do custo total.

3.6. Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos

Na gestão de resíduos sólidos uma classe de resíduo que se destaca é a de equipamento elétricos eletrônico, denominado eletroeletrônicos ou e-lixo (*e-waste*, reee). Devido a rápida mudança da tecnologia, a redução dos preços dos produtos e ao consumo crescente, há um descarte muito grande desse tipo de resíduo [86] [87] [88] [107]. Há publicações que relatam que a solução para esse problema é a sua reutilização, reciclagem ou reuso. Esses produtos normalmente contém componentes perigosos (químicos), não podendo ser descartados em locais impróprio e devendo ser rastreados para detectar sua destinação final [86] [87] [16] [89] [108].

Na China é tratada essa questão de informalidade quanto ao resíduos de lixos eletrônicos e é proposto um **framework e-Waste** de Depósito de Reembolso baseada no princípio de Responsabilidade Estendida do Produtor [104] [103].

A preocupação da Logística Reversa, principalmente em relação aos resíduos perigosos (lâmpadas, baterias), faz com que os fabricantes procurem alternativas para motivar a população a entregarem esse material em locais apropriados. É proposto um modelo, que usa a tecnologia **GIS, Regressão Linear e Programação Inteira Mista**, para analisar a quantidade e tipo de material reciclável coletado, a proximidade espacial da população em relação ao local de coleta da bateria, possibilitando uma distância mínima e verificação das regiões que necessitam de locais adicionais de coleta [31].

As políticas ambientais adotadas nos diversos países também impulsionam a adoção e melhoria do controle do processo de Logística Reversa, onde os fornecedores precisam cumprir as suas obrigações de responsabilidade social e inclusão do retorno direcionado para a reciclagem e manter instalações de reparo e reuso. O reuso pode ser integral, com a recuperação do produto, ou parcial, onde é reaproveitamento alguns dos seus componentes.

No Sri Lanka, [109] explorou as práticas adotadas na gestão do lixo eletrônico e sugeriu algumas estratégias e procedimentos que possam aprimorar a Política Nacional de resíduos elétricos e eletrônicos do país.

Existem Revisões Bibliográficas que relatam o problema do consumo sem controle dos REEE e os danos que eles podem causar ao meio ambiente (componentes perigosos, emissão de gases, extração de material). Algumas descrevem números estatísticos, como da venda global de equipamentos elétricos e eletrônicos em diversos anos em diversos países, destacando a distribuição da taxa de destinação final (reciclagem e rejeito) [90]. Há outras que procuram definir e classificar os tipos de resíduos eletrônicos e descrevem as melhores práticas adotadas por países desenvolvidos [91].

Outra Revisão destaca o aumento excessivo das vendas dos equipamentos elétricos eletrônicos e a inexistência de dados confiáveis (consolidados), como no caso do Brasil sobre a geração desse tipo de resíduo. Nessa publicação é descrita a existência de **Métodos para Previsão** da geração de resíduos e é proposto um modelo baseado em diferentes métodos [92].

As empresas tem dificuldade de rastrear em tempo real seus produtos e ter uma logística reversa eficiente. Em Taiwan é proposto um modelo de **Mapa Cognitivo Difuso** para a construção de um modelo de rede de decisão para logística reversa, que

integra a tecnologia de **RFID e um Algoritmo Genético**. Com o RFID tem-se um controle/acompanhamento do produto em tempo real, pois seus dados são identificados através dos leitores, rastreados e monitorados durante o transporte e todo seu ciclo de vida (que inclui a logística reversa). Um **Algoritmo Genético** é integrado para realizar o treinamento dos pesos dos parâmetros do processo de logística [93].

É proposto por [94], um modelo matemático de Rede Logística Reversa para equipamentos eletroeletrônicos usando **Algoritmo Genético** e de **Ordenação Topológica**. Nesse modelo é abordado o Problema de Sequenciamento de Projetos com recursos limitados para a tomada de decisão, em relação a configuração dos pontos de coleta e desmontagem. São inter-relacionados vários centros (coleta, desmontagem e reciclagem), havendo vários parâmetros (capacidade dos centros, quantidade retornada) e condições que restringem o custo total da logística reversa (custo da operação de desmontagem). Nessa rede existem vários nós iniciais, que são os centros de coleta responsáveis por receber e armazenar os resíduos. Depois esses resíduos são passados para os centros de pré-tratamento, que fazem a triagem e limpeza. No final são encaminhados para o centros de desmontagem.

Devido aos problemas dos REEE é proposto uma modelo de rede de circuito fechado para a cadeia de suprimentos, contemplando nela o processo de reciclagem. É usado nesse modelo a **Programação Inteira Mista com parâmetros Fuzzy** [107].

Em Taiwan foi desenvolvido um método usando **Raciocínio Baseado em Casos** e **AHP** para a concepção e projeto de um produto eletroeletrônico. Esse método projeta toda a vida útil do produto e como será sua reciclagem futura. Prevê a taxa de reciclagem do produto, a economia de recursos e dos componentes críticos (perigosos) e difíceis de reciclar [16].

Na China foi desenvolvido um modelo de Sistema de Informação de Logística Reversa para Lixo-Eletrônico baseado na **Internet**, que deve servir de apoio ao gestores na tomada de decisão e planejamento. Esse modelo descreve um sistema interativo e que integra a tecnologia **Web-Gis** para análise e visualização do fluxo dos materiais em tempo real e de forma dinâmica, podendo ser feito de forma automática o controle por rastreamento e monitoramento. Nessa publicação também é descrita a preocupação com a coleta, tratamento e integração dos dados espaciais e heterogêneos [86].

Foi usado o modelo de **Programação Linear Inteira Mista e Algoritmo Genético** para gerar um modelo de logística avante/reversa para os resíduos eletrônicos que minimiza o custo da rede da cadeia de suprimentos e aumenta a demanda total de clientes satisfeitos a solução [87]. Nesse modelo é proposta como solução a substituição da matéria prima pelo material reciclado ou material coletado dos produtos dos clientes.

Na tomada de decisão existe a preocupação com o custo em relação ao processo da logística reversa. Existe publicação que destaca esse problema propondo um modelo de otimização multicritério para resíduos de equipamentos elétricos eletrônicos com base na **Programação Linear Multiobjetivo**. O objetivo é minimizar os custos totais, como consumo de combustível e emissão de poluentes [88].

O sistema que envolve a coleta e tratamento do lixo eletrônico é complexo, por causa dos seus diversos tipos de componentes (metais valiosos ou mesmo perigosos e tóxicos) e precisa de uma legislação ambiental específica. O processo de reciclagem de

alguns equipamentos depende da aplicação de tecnologias, não podendo serem feitas de forma manual, de acordo com exigências legais, para não prejudicar o meio ambiente e causar risco a saúde coletiva [89] [94].

Foi proposto o modelo de rede Bo2W para a China e a Índia para tratamento dos resíduos eletrônicos, considerando a integração de técnicas de desmontagem manual do REEE e tratamento dos resíduos perigosos [89]. Segundo [98] a desmontagem da placa de circuito impresso é complexa e precisa de uma técnica especial de desmontagem e separação por ter componentes tóxicos e valiosos.

Com o surgimento da **Computação em Nuvem** (*Cloud Computing*) foi possível ter plataformas de informações na **Web**, como a plataforma de reciclagem para e-lixo (Lixo eletrônico). É uma plataforma em que todas as partes interessadas estão integradas e podem se comunicar, como fabricantes, autoridades governamentais e recicladores [95] [96]. Ela pode propiciar a gestão rápida e eficiente do fluxo de informação, de material e financeiro, no contexto da rede de reciclagem [95].

Os fabricantes podem fornecer informações sobre seu produto, como instruções de descarte e tratamento dos componentes considerados perigosos. Todos os interessados usam essa plataforma para compartilhar as informações [96]. Há casos em que as informações do projeto do produto são proprietárias e não são divulgadas, prejudicando o processo de reciclagem e reutilização do produto [97].

Em Taiwan foi proposta uma plataforma colaborativa de projetos de produtos para ajudar no planejamento do processo de desmontagem e na análise da reciclagem, onde os dados são coletados e fornecidos pelos envolvidos na cadeia de suprimentos (clientes, fornecedores e fabricantes). Nessa plataforma a colaboração é construída e estendida usando o **Projeto Assistido por Computador (CAD)**, **Planejamento de Recursos Empresariais (ERP)**, **Sistema de Ciclo de Vida**. O fornecedor passa os dados dos seus projetos para os clientes pela **Internet** e os sistemas ERP e CAD são usados para revisar e integrar as informações [97]. Todos os produtos tem que ter um detalhamento de seus diversos componentes de forma hierárquica, com especificação da peça, do perfil do material, do método de desmontagem, do tipo de destinação e tratamento adequado e da análise da reciclagem [97].

A técnica de **Raciocínio Baseado em Casos (RBC)** foi usada na plataforma para determinar o processo de desmontagem que deve ser utilizado (gera a sequência). De acordo com a estrutura de desmontagem, a taxa de reciclagem é calculada. Pelo projeto verifica-se quais componentes são ou não fáceis de desmontar e reciclar, assim como para agrupar em subconjuntos de materiais nocivos, valiosos e reutilizáveis [97].

A análise multicritério também é adotada na área de gestão de REEE, onde é usado o método **ELECTRE III** para definição do local adequado para a instalação de unidade de tratamento de resíduos REEE. O foco do tratamento é a reciclagem e leva em consideração fatores como custo de transporte, logística reversa e necessidade legislativa (critérios sociais e econômicos) [99].

Um modelo matemático de Programação Linear Mista é proposto por [100], para suporte à decisão para ajudar na redução do custo e na gestão eficiente da infraestrutura existente (pontos de coleta e tratamento) de logística reversa de resíduos eletrônicos.

3.7. Discussão dos Resultados

Na concretização dessa revisão foi criada uma tabela sintetizada das publicações resultantes (Tabela 6) agrupadas pelo **Tipo de Aplicação** que se enquadram no Sistema de Apoio à Decisão na Gestão de Resíduos. Ela também contém as colunas **Referências (Ref)**, o **País** ou continente de estudo ou aplicação, as principais **TICs** e métodos de otimização empregados **PO** (Tabela 5), o **Tipo de Resíduo Sólido- TR** em questão, se possui ou não **Estudo de Caso-EC**.

Estão identificadas na tabela as TICs predominantes nas publicações (GIS, RFID, GPS, PI). As que ocorrem com menor frequência estão agrupados como Outras (O) e podem ser Sensores, Microprocessador, Microcontrolador, GPRS, GSM, CAD, Banco de Dados Geoespacial, Linguagem de Programação, Computação nas Nuvens e Internet.

No ciclo de vida da Gestão de Resíduos são empregados os Sistemas de Apoio à Decisão para diversas Tipos de Aplicação (TA) como:

Tabela 3: Tipos de Aplicações

Tipo	Aplicação
GC	Gestão da Coleta, Rota e Transporte
MC	Monitoramento dos Contêineres
RC	Reciclagem e Classificação de Material
AP	Administração Pública
PP	Previsão e Planejamento
DL	Determinação dos Locais de Destinação dos Resíduos
GE	Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos

Nas publicações selecionadas foram encontradas publicações com relatos de um ou mais tipos de classes de Resíduos Sólidos (Tabela 4). Na tabela 5 foram usadas as respectivas siglas para cada tipo de classe de resíduo relacionada na publicação, como EP para representar os resíduos eletroeletrônicos e perigosos.

Tabela 4: Tipos de Resíduos

Tipo	Classe Resíduo
U	Resíduos sólidos oriundos das atividades das residências e comércios dos centros urbanos
E	Resíduos formados exclusivamente por equipamentos eletroeletrônicos
P	Resíduos perigosos
R	Resíduos sólidos oriundos de atividades de diversos setores (indústria, comércio, agricultura, hospitais, entre outros)

Nessa revisão alguns métodos e técnicas de otimização da PO, usados nas publicações selecionadas, foram enquadrados em tipos para facilitar a classificação, como os Método de Otimização Matemática (MM), Técnicas de Processo Estocástico (TE), Métodos Estatísticos (ME), Métodos de Análise Multicritério (AM), Teoria e Métodos de Grafos e Redes (MR), Técnicas de Otimização Modernas (Métodos Heurísticos) (MH)

Tabela 5: Métodos de PO usados em Sistemas de Apoio à Decisão na Gestão de RS

Tipo	Descrição
------	-----------

MM	Programação Linear, Programação Linear Inteira Mista, Programação Linear Fracional, Programação Inteira Binária, Programação Não Linear, Programação Quadrática, Programação Dinâmica, Programação Linear Intervalo, Programação Linear Fuzzy, Programação Fuzzy, Teoria dos jogos
TE	Teoria de Filas, Pesquisa TABU, Métodos de Simulação (Monte Carlo), (Processos/Modelos de Previsão, Programação Estocástica, Programação Dinâmica Estocástica, Séries Temporais
ME	Análise de Regressão, Regressão Linear, Regressão Logística Binária, Auto Regressão
AM	AHP, ANP, ELECTRE, SODA (Mapa Cognitivo Difuso), Fuzzy, Programação Multiobjetivo
MR	Modelos de Redes de Transporte, Modelos de Grafos, Ordenação Topológica
MH	Lógica Fuzzy, Algoritmos Genéticos, Algoritmos Colônia de Formigas, Redes Neurais, Raciocínio Baseado em Casos, Programação Lógica Restrita, Regressão Vetor de Suporte, Máquina de Vetores de Suporte, Mineração de Dados, Método Otsu

Tabela 6: Tabela Sintetizada das Publicações

Ref	País	PO						TICs					TR	EC
		MM	TE	ME	AM	MR	MH	GIS	RFID	GPS	PI	O		
Gestão da Coleta, Rota e Transporte														
[40]	Bangladesh						X						U	S
[78]	China						X						R	S
[32]	China		X			X	X						U	N
[39]	China					X	X						U	S
[43]	China							X	X	X		X	U	S
[102]	Grécia	X				X		X					R	S
[33]	Índia					X		X					U	S
[34]	Índia					X		X		X		X	U	S
[8]	Itália		X			X		X	X	X		X	U	S
[77]	Itália		X				X	X		X		X	R	S
[42]	Malásia							X					U	S
[44]	Malásia		X			X	X						U	S
[38]	Reino Unido						X		X				U	N
[113]	USA		X										I	N
[112]	USA		X										I	N
Total	15	1	6	0	0	7	7	7	3	4	0	4	I=2 U=10 R=3	N=4 S=11
Monitoramento e Controle dos Contêineres														
[19]	China		X				X	X				X	U	S
[111]	China												U	S
[36]	Índia							X	X	X		X	U	S
[41]	Itália									X		X	U	S
[14]	Itália							X	X	X		X	U	S
[17]	Malásia						X	X	X	X	X	X	U	S
[26]	Malásia						X	X	X	X	X	X	U	S
[28]	Malásia						X	X	X	X	X	X	U	S
[25]	Malásia							X	X	X	X	X	U	N
[15]	Malásia						X	X	X	X	X	X	U	S
[37]	Portugal											X	U	S
[18]	Portugal	X			X			X					U	S
Total	12	1	1	0	1	0	5	9	7	8	5	10	U=12	N=1 S=11
Reciclagem e Classificação														
[79]	Canadá						X				X	X	R	N
[80]	Canadá						X				X		R	N
[110]	China												U	S
[120]	Grécia	X						X				X	R	S
[115]	Europa												U	N
[106]	Filipinas												U	N
[45]	Indonésia												U	S
[121]	Japão/Taiwan												U	N
[81]	Malásia						X				X		R	N
[122]	Singapura												R	N
[16]	Taiwan				X		X						EP	S

Continua na próxima página

Tabela 6 – Continua na próxima página

Ref	País	PO						TICs					TR	EC
		MM	TE	ME	AM	MR	MH	GIS	RFID	GPS	PI	O		
Total	11	1	0	0	1	0	4	1	0	0	3	2	EP=1 R=5 U=5	N=7 S=4
Administração Pública e Desenvolvimento Sustentável														
[46]	Alemanha		X		X			X			X	X	U	S
[29]	África do Sul							X					U	N
[48]	Brasil												R	S
[85]	Bélgica			X									U	S
[124]	China	X			X								R	S
[101]	China	X	X		X								R	N
[83]	China	X											U	N
[82]	China	X											U	N
[105]	China												U	N
[114]	China												U	N
[35]	China							X		X		X	U	S
[52]	Espanha				X								U	N
[47]	Espanha		X		X			X					U	S
[118]	Espanha												U	N
[49]	Europa												R	N
[84]	Grécia	X											R	N
[117]	Índia												U	N
[50]	Nigéria			X									U	N
[2]	Nova Zelândia		X									X	R	S
[51]	Rússia/Suécia											X	R	S
[3]	USA/França												U	N
Total	21	5	4	2	5	0	0	4	0	1	1	4	R=7 U=14	N=13 S=8
Previsão e Planejamento														
[66]	Canadá	X			X								U	S
[53]	China	X					X						U	S
[55]	China	X											U	S
[56]	China	X											U	S
[57]	China	X											U	S
[54]	China	X	X										U	S
[58]	China	X											U	S
[59]	China	X											U	S
[60]	China	X											U	S
[63]	China	X											U	S
[125]	China	X											U	S
[116]	China				X							X	R	S
[30]	Europa						X						U	S
[76]	Filipinas		X					X					U	S
[61]	Hong Kong		X	X									R	S
[65]	Índia	X	X		X								U	S
[123]	Israel			X								X	U	S
[62]	Reino Unido			X									R	S
Total	18	12	4	3	3	0	2	1	0	0	0	2	U=15 R=3	N=0 S=18
Determinação dos Locais de Destinação dos Resíduos														
[73]	Cabo Verde				X			X					U	S
[69]	Egito				X			X					U	S
[75]	Itália	X			X			X					U	S
[67]	Irã				X			X				X	R	N
[70]	Irã	X						X					U	S
[74]	Irã				X								U	N
[71]	Sérvia				X			X					U	S
[64]	Turquia				X								U	S
[68]	Sierra Leoa				X			X					R	S
[72]	Turquia				X			X					U	S
[119]	Turquia				X			X					RP	S
Total	11	2	0	0	10	0	0	9	0	0	0	1	RP=1 R=2 U=8	N=2 S=9 S=9

Continua na próxima página

Tabela 6 – Continua na próxima página

Ref	País	PO						TICs					TR	EC
		MM	TE	ME	AM	MR	MH	GIS	RFID	GPS	PI	O		
Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos														
[92]	Brasil												E	S
[87]	China	X					X						E	N
[86]	China							X				X	E	N
[94]	China					X	X						E	N
[95]	China											X	E	S
[96]	China											X	E	S
[98]	China												EP	N
[103]	China											X	E	N
[104]	China											X	E	N
[89]	China/India					X						X	E	S
[108]	Coreia												E	S
[88]	Grécia	X			X								E	S
[99]	Grécia				X								E	S
[100]	Grécia	X											E	S
[90]	Malásia												EP	N
[91]	Nigéria												E	S
[109]	Siri Lanka												E	S
[107]	Taiwan	X				X							E	N
[93]	Taiwan				X		X		X				E	S
[97]	Taiwan						X				X	X	E	S
[31]	Taiwan	X		X				X					P	S
Total	21	5	0	1	3	3	4	2	1	0	1	7	EP=2 E=18 P=1	N=8 S=13
Total	109	27	15	6	23	10	22	33	11	13	10	30	EP=3 E=18 P=2 U=64 I=2 R=20	N=35 S=74

As publicações resultantes da revisão sistemática evidenciam o quanto as TICs e métodos de otimização da PO estão inseridas no contexto de apoio na tomada de decisão na gestão de resíduos sólidos. Estão presentes métodos, técnicas e tecnologias na maior parte do ciclo de vida de gestão, com projetos que visam o planejamento e controle dos resíduos desde sua concepção até pós vida útil, como no caso dos resíduos eletroeletrônicos. Isso é comprovado pelas análises a seguir.

Concretizou-se essa revisão em 109 publicações resultantes, com enquadramento em 7 áreas de concentração de aplicações, 6 grupos de métodos da PO, 5 de tecnologias e 4 classes de resíduos. Quanto ao enquadramento 15 publicações foram agrupadas no processo de Gestão de Coleta, Rota e Transporte, 12 no Monitoramento e Controle de Contêineres, 11 na Reciclagem e Classificação, 21 na Administração Pública e Desenvolvimento Sustentável, 18 na Previsão e Planejamento, 11 na Determinação de Locais de Destinação e 21 na Gestão de Eletroeletrônicos.

Nos Processos de Gestão de Coleta e Monitoramento dos Contêineres há a predominância do uso das tecnologias GIS, RFID e GPS, com 16 publicações destacando o uso do GIS, 10 com RFID, 12 GPS. Ainda há 14 pesquisas que também integram outros tipos de tecnologias e 5 o Processamento de Imagem. Muitas propostas evidenciam que a integração dessas tecnologias podem propiciar uma maior eficiência nesse processo de gestão.

Essa integração das TICs existe para atender aos objetivos do tripé de sustentabilidade (social, ambiental e econômico), de forma que procuram atender a população de forma mais rápida e eficiente sem prejudicar o meio ambiente com poluição e emissão de gases e com menor custo. Para ter esse equilíbrio também são aplicados, juntamente com as TICs, os métodos de otimização da PO, como pode ser visto na (Tabela 6), nos processos de Gestão da Coleta e do Monitoramento e Controle, com 12 publicações usando Métodos Heurísticos, 7 usando Métodos Estocásticos e 7 Métodos de Rede.

No Processo de Reciclagem há um equilíbrio quanto ao uso dos métodos da PO e tecnologias. Na maioria das publicações o reaproveitamento dos resíduos, seja para a reciclagem, compostagem ou meio de geração de energia são destacados como alternativa para a destinação dos resíduos. Para que isso ocorra existem projetos que usam Métodos Heurísticos (4) junto com Processamento de Imagem (3) para classificação de material, como o caso do plástico PET. No controle dos contêineres também foram apresentados projetos de triagem dos materiais com uso de diversos tipos de sensores.

A disposição e destinação dos resíduos é um das preocupações dos gestores na Administração Pública que procuram planejar suas ações buscando escolher as melhores alternativas para manter um ambiente sustentável. Essas pesquisas apresentam sistemas dinâmicos, com simulação de cenários futuros para dar apoio à decisão aos tomadores de decisão, que precisam ter suas decisões pautadas em medidas racionais e ponderadas. Para isso são usados os métodos de simulação, de equilíbrio (Teoria dos Jogos) e matemáticos aliados ao GIS. Percebe-se que das 21 publicações da Administração Pública 16 usam Métodos da PO (5 AM, 5 MM, 4 TE e 2 ME).

Para que o planejamento ocorra de forma eficiente são buscados métodos de previsão, previsão sobre a geração dos resíduos nas cidades e centros urbanos e consequentemente determinação dos locais de tratamento e destinação desses resíduos. Países conscientizados fazem a prevenção e já programam seus orçamentos para a construção de locais de tratamento, incineradores ou aterros sanitários. Na tabela (Tabela 6), nos Processos de Previsão e Determinação de Local, observa-se 14 pesquisas usando Métodos de Otimização Matemática e 13 com Métodos de Análise Multicritério para apoiar as decisões nessa área de planejamento. Muitas das publicações descrevem propostas de modelos e algumas delas (10) integram a tecnologia GIS.

Observa-se a predominância de publicações oriundas de países desenvolvidos, alguns desses com preocupações não somente internas, restritas ao seu país, mas também mundiais e relacionadas aos países não desenvolvidos e sem infra-estrutura. A China se destaca entre os países com maior número de propostas distintas (de TICs e PO), já a Malásia tem mais contribuições com propostas que integram as TICs com os Métodos Heurísticos.

Os Métodos de Análise Multicritério são predominantes quando se trata do Processo de Determinação dos Locais de destinação dos resíduos, das 11 publicações 10 delas usam esses métodos. Procura-se nessa situação escolher a melhor alternativa dentre as várias existentes, pois nesse contexto há distintos destinos (aterro sanitário, tratamento, incineradores, compostagem, geração de energia) que devem ser consideradas levando-se em consideração diversos fatores e restrições, como distância dos centros urbanos, custo, poluição dos lençóis freáticos, entre outros. A visualização e análise das localidades são

adicionados aos modelos com o uso da tecnologia GIS, das 11 publicações 9 delas usam GIS.

Nessas análises há a apreensão quanto a destinação dos produtos perigosos que também é evidenciada na Gestão de Eletroeletrônicos. Nessa gestão são usadas tecnologias inovadoras da *WEB*, como *Cloud Computing* para rastreamento das peças. Nesse processo os fabricantes são os *stakeholders* que procuram alternativas para atender a Logística Reversa com o uso das TICs. São usados Métodos Matemáticos (5), Métodos Estatísticos (1), Métodos de Análise Multicritério (3), Métodos de Rede (3), Métodos Heurísticos (4), GIS (2) e outras tecnologias diversas (9).

Das 109 publicações foram 20 (18,34%) relacionadas diretamente com resíduos eletroeletrônicos, 64 (58,71%) urbanos e 25 (22,93%) resíduos gerais (industriais, construção, entre outros).

No geral houve um equilíbrio de uso dos Métodos da PO e das tecnologias das TICs, foram 97 (88,99%) publicações com aplicação das TICs e 101 (92,66%) com métodos da PO. Das TICs 33 delas usam GIS, 30 tecnologias diversas, 13 GPS, 11 RFID e 10 Processamento de Imagem. Da PO 27 usam Métodos Matemáticos, 22 Métodos de Análise Multicritério, 22 Métodos Heurísticos, 14 Métodos Estocásticos, 10 Métodos de Redes e 6 Métodos Estatísticos.

O GIS está presente em mais de 30% das publicações, sobressaindo em relação as outras tecnologias. Percebe-se que essa tecnologia foi aliada com outras, como RFID e GPS e seu custo pode ser elevado e não é viável para alguns países.

As propostas podem ter seu custo minimizado, sem perder sua eficiência como solução, como nos casos das propostas que envolvem modelos. Foram 46 publicações com proposta que usam apenas métodos de otimização (PO), sem integração com outra tecnologia (TICs).

Foram 37 publicações que integram tanto os métodos da PO quanto as TICs e apenas 13 que usam apenas as TICs. Percebe-se um número muito menor de propostas usando apenas as TICs.

Como pode ser visto na última coluna da (Tabela 6), a maioria das publicações (mais de 67%) apresentam estudos de casos das propostas de modelos, frameworks, metodologias e técnicas apresentadas. Alguns casos foram implementados em seu país.

As publicações contém pesquisas realizadas por pesquisadores de vários países, algumas delas há pesquisas em conjunto por pesquisadores de países diferentes e há casos em que os pesquisadores fazem referência a outro país, diferente ao seu de origem. Também existem as publicações que descrevem soluções adotadas por diversos países, até mesmo continentes.

Muitas das publicações (20) são Revisões Bibliográficas sobre o contexto da gestão dos resíduos, algumas delas com enfoque geral e outras com enfoque em soluções mais específicas, como as Revisões sobre a adoção da Reciclagem ou do uso do GIS. Essas publicações foram selecionadas para compreender melhor essa área de gestão de resíduos e seu processo de tomada de decisão.

Detecta-se que dentre as 109 publicações há carência de pesquisas dentro da área

de conscientização ambiental, poucas relatam essa preocupação e falam da gestão do desperdício. São necessárias também mais pesquisas que adotem a PO e TICs na área de reciclagem, logística reversa e apoio à criação de legislação ambiental.

4. Conclusão

Os problemas ambientais, inclusive o da gestão de resíduos sólidos urbanos, são uma preocupação mundial com pesquisas disseminadas em todo seu ciclo de vida, desde a concepção do produto até sua destinação final. Essas pesquisas envolvem aplicação das TICs e métodos da PO.

Nessa revisão foi aplicada uma metodologia científica para pesquisar métodos, técnicas e tecnologias de sistemas de apoio à decisão na área de gestão de resíduos sólidos. Essa metodologia tem etapas bem rigorosas em seu processo, conduzindo a resultados bem objetivos, mas despendendo de muito tempo para sua realização. Ao término as expectativas foram satisfeitas e superadas, e a revisão possibilitou encontrar novas áreas de estudo dentro da Teoria da Decisão e novos processos que envolvem a gestão ambiental.

Conseguiu-se chegar ao final dessa revisão com uma seleção de 109 publicações comprovadamente relevantes para a pesquisa definida no protocolo inicial. Essas pesquisas foram analisadas e tabuladas relacionando-as com os métodos de otimização da PO e as tecnologias das TICs.

Para facilitar a compreensão os métodos foram agrupados em 6 (Métodos Matemáticos, Estatísticos, Estocásticos, Redes e Heurísticos) e as tecnologias em 5 (GIS, GPS, RFID, Processamento de Imagem e Outras diversas). Quanto aos processos que envolvem a gestão dos resíduos foram criados 7 grupos principais de preocupação (Gestão de Coleta, Rota e Transporte; Monitoramento de Contêineres; Reciclagem e Classificação; Administração Pública; Previsão e Planejamento; Determinação de Locais de Destinação e Gestão dos Resíduos Eletroeletrônicos).

Ao final detectou-se publicações de 36 países que procuram nas TICs e na PO alternativas para amenização dos problemas ambientais. Percebeu-se, que dentro do contexto de apoio à decisão, alguns campos precisam de mais pesquisa como o caso da conscientização e educação ambiental, gestão do desperdício, reciclagem e suporte à criação de legislação ambiental. Observou-se também que os países desenvolvidos tem mais acesso as tecnologias de ponta e desenvolvem sistemas com tecnologias integradas.

Essa percepção de carência de pesquisa em algumas áreas permitiu a concretizou-se da criação de uma ferramenta de apoio à conscientização ambiental aliada a reciclagem chamada AcheseuEcoponto [143].

Espera-se que essa revisão auxilie outros pesquisadores servindo como base inicial de estudo ou contribuindo para a investigação de propostas específicas de soluções para a área de gestão de resíduos. Mesmo havendo muitas iniciativas e pesquisas mundiais ainda há muito a explorar nos métodos de análise multicritério e tecnologias de baixo custo para os países em desenvolvimento.

Referências

- [1] Seok, H., Nof, S. Y. and Filip, F. G. (2012). Sustainability decision support system based on collaborative control theory. *Annual Reviews in Control*, v. 36, n. 1, p. 85 – 100.

- [2] Ahmed, M. D. and Sundaram, D. (2012). Sustainability modelling and reporting: From roadmap to implementation. *Decision Support Systems*, v. 53, n. 3, p. 611 – 624.
- [3] Gunasekaran, A. . and Spalanzani, A. . (2012). Sustainability of manufacturing and services: Investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, v. 140, n. 1, p. 35–47.
- [4] Brasil. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- [5] Phillis, Y. A., Grigoroudis, E. and Kouikoglou, V. S. (15 jan 2011). Sustainability ranking and improvement of countries. *ECOLOGICAL ECONOMICS*, v. 70, n. 3, p. 542–553.
- [6] Relatório Rio+20 (2012). O Modelo Brasileiro- Relatório de Sustentabilidade da Organização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. Fundação Alexandre de Gusmão, Brasília, 2012 (Acesso: agos. 2013) <http://www.itamaraty.gov.br/relatorio-rio20>
- [7] Relatório das Nações Unidas (2005). The Millennium Development Goals Report, United Nations, New York, 2005, pág. 30 (Acesso: agos. 2013) <http://unstats.un.org/unsd/mi/pdf/mdg>
- [8] Faccio, M., Persona, A. and Zanin, G. (dec 2011). Waste collection multi objective model with real time traceability data. *WASTE MANAGEMENT*, v. 31, n. 12, p. 2391–2405.
- [9] Brasil. Lei nº12305, de 2 de agosto de (2010). Política Nacional de Resíduos Sólidos República Federativa do Brasil, Brasília, DF.
- [10] PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2012). Perspectivas do Meio Ambiente Mundial 2002 – GEO-3. Nairobi, Kenya, 2004. (Acesso: agos. 2013) <http://www.unep.org/GEO/geo3/index.htm>
- [11] Abrelpe e Plastivida. (2012). Caderno informativo -Recuperação energética: resíduos sólidos urbanos. São Paulo: Comitê de Valorização Energética.
- [12] EPA- United States Environmental Protection Agency (2011). Office of Solid Waste (5306P), EPA530-R-13-001. Municipal Solid Waste in the United States - 2011 Facts and Figures.
- [13] Monteiro, José. H.P.M et al. Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. IBAM- Instituto Brasileiro de Administração Municipal -Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.Rio de Janeiro, 2001.
- [14] Rada, E. C., Ragazzi, M. and Fedrizzi, P. (2013). Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste Management*.
- [15] Hannan, M. A., Arebey, M., Begum, R. A. and Basri, H. (2011). Radio Frequency Identification (RFID) and communication technologies for solid waste bin and truck monitoring system. *Waste Management*, v. 31, n. 12, p. 2406 – 2413.
- [16] Kuo, T. C. (2010). Combination of case-based reasoning and analytical hierarchy process for providing intelligent decision support for product recycling strategies. *Expert Systems with Applications*, v. 37, n. 8, p. 5558 – 5563.

- [17] Hannan, M. A., Arebey, M., Begum, R. A., Mustafa, A. and Basri, H. (2013). An automated solid waste bin level detection system using Gabor wavelet filters and multi-layer perception. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 72, n. 0, p. 33 – 42.
- [18] Tralhao, L., Coutinho-Rodrigues, J. and Alcada-Almeida, L. (2010). A multiobjective modeling approach to locate multi-compartment containers for urban-sorted waste. *Waste Management*, v. 30, n. 12, p. 2418 – 2429.
- [19] Fan, X., Zhu, M., Zhang, X., He, Q. and Rovetta, A. (jan 2010). Solid waste collection optimization considering energy utilization for large city area. In *Logistics Systems and Intelligent Management, 2010 International Conference on*. v. 3, p. 1905 - 1909
- [20] Staples, M. and Niazi, M. (jun 2008). Systematic review of organizational motivations for adopting CMM-based SPI. *Information and Software Technology*, v. 50, n. 7–8, p. 605–620.
- [21] Kitchenham, B. and Charters, S. (2007). *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. Technical report, Evidence-based Software Engineering - United Kingdom.
- [22] Guessi, M., De Oliveira, L. B. R. and Nakagawa, E. Y. (2011). *Current State on Representation of Reference Architectures*. Technical report, University of Sao Paulo-Brazil. ISSN - 0103-2569
- [23] Biolchini, J., Mian, P. G. and Natali, A. C. C. (may 2005). *Systematic Review in Software Engineering*. Relatório Técnico RT-679/05, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro
- [24] Zamboni, A.; Thommazo, A. D.; Hernandes, E.; Fabbri, S. (2010) *StArt- Uma Ferramenta Computacional de Apoio à Revisão Sistemática*. Anais do Congresso Brasileiro de Software: Teria e Prática. Salvador, BA. XVII Seção de Ferramentas.
- [25] Islam, M. S., Arebey, M., Hannan, M. A. and Basri, H. (may 2012). Overview for solid waste bin monitoring and collection system. In *Innovation Management and Technology Research (ICIMTR), 2012 International Conference on*. p. 258-262
- [26] Arebey, M., Hannan, M. A., Basri, H., Begum, R. A. and Abdullah, H. (jun 2010). Solid waste monitoring system integration based on RFID, GPS and camera. In *Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2010 International Conference on*. p. 1-5
- [27] Arebey, M., Hannan, M. A., Basri, H., Begum, R. A. and Abdullah, H. (jun 2011). Integrated technologies for solid waste bin monitoring system. *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT*, v. 177, n. 1-4, p. 399–408.
- [28] Hannan, M. A., Arebey, M., Begum, R. A. and Basri, H. (nov 2011). Gray Level Aura Matrix: An image processing approach for waste bin level detection. In *Sustainable Technologies (WCST), 2011 World Congress on*. 77 -82
- [29] Lewis, M. P. and Ogra, A. (jun 2010). An approach of Geographic Information System (GIS) for Good Urban Governance. In *Geoinformatics, 2010 18th International Conference on*. p. 1 -6
- [30] Antanasijevic, D., Pocajt, V., Popovic, I., Redzic, N. and Ristic, M. (jan 2013). The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators. *SUSTAINABILITY SCIENCE*, v. 8, n. 1, p. 37–46.

- [31] Lin, H.-Y., Chen, G.-H., Lee, P.-H. and Lin, C.-H. (aug 2010). An interactive optimization system for the location of supplementary recycling depots. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 54, n. 10, p. 615–622.
- [32] Deng, A., Mao, L., Tian, F. and Cai, J. (sep 2011). An Optimal Model and Its Algorithm for Multi-echelon MSW Recycling Network Design. In *Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences (ICM)*, 2011 International Conference on. v. 1, p. 254 -259
- [33] Ghose, M.K.; Dikshit, A.K.; Sharma, S.K.(2006) A GIS based transportation model for solid waste disposal – A case study on Asansol municipality. *Waste Managemet*. v. 11, p. 1287–1293
- [34] Kanchanabhan, T. E., Mohaideen, J. A., Srinivasan, S. and Sundaram, V. L. K. (mar 2011). Optimum municipal solid waste collection using geographical information system (GIS) and vehicle tracking for Pallavapuram municipality. *WASTE MANAGEMENT & RESEARCH*, v. 29, n. 3, p. 323–339.
- [35] Ruihong, Z. and Zhichao, Y. (apr 2010). The research of solid waste management system in Dongguan City based on GIS. In *E-Health Networking, Digital Ecosystems and Technologies (EDT)*, 2010 International Conference on. v. 1 p 36-38
- [36] Purohit, S. S. and Bothale, V. M. (sep 2011). RFID based solid waste collection process. In *Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)*, 2011 IEEE. p. 457-460
- [37] Gomes, T., Brito, N., Mendes, J., Cabral, J. and Tavares, A. (mar 2012). WECO: A wireless platform for monitoring recycling point spots. In *Electrotechnical Conference (MELECON)*, 2012 16th IEEE Mediterranean.
- [38] Nielsen, I., Lim, M. and Nielsen, P. (jun 2010). Optimizing supply chain waste management through the use of RFID technology. In *RFID-Technology and Applications (RFID-TA)*, 2010 IEEE International Conference on. p. 296 -301
- [39] Liu, J. and He, Y. (nov 2012). Ant Colony Algorithm for Waste Collection Vehicle Arc Routing Problem with Turn Constraints. In *Computational Intelligence and Security (CIS)*, 2012 Eighth International Conference on. p. 35-39
- [40] Islam, R. and Rahman, M. S. (may 2012). An ant colony optimization algorithm for waste collection vehicle routing with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities. In *Informatics, Electronics Vision (ICIEV)*, 2012 International Conference on. p. 774 -779
- [41] Longhi, S., Marzioni, D., Alidori, E., et al. (may 2012). Solid Waste Management Architecture Using Wireless Sensor Network Technology. In *New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, 2012 5th International Conference on. p.1-5
- [42] Malakahmad, A. and Khalil, N. D. (jun 2011). Solid waste collection system in Ipoh city. In *Business, Engineering and Industrial Applications (ICBEIA)*, 2011 International Conference on. p. 174 -179
- [43] Tao, C. and Xiang, L. (nov 2010). Municipal Solid Waste Recycle Management Information Platform Based on Internet of Things Technology. In *Multimedia Information Networking and Security (MINES)*, 2010 International Conference on. p.729- 732

- [44] Ismail, Z. and Irhamah (2010). Genetic Algorithm and Tabu Search for Vehicle Routing Problems with Stochastic Demand. C. Ozel and A. Kilicman, Eds. In ICMS: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATHEMATICAL SCIENCE. , AIP Conference Proceedings. v. 1309 p. 488-504
- [45] Sembiring, E. and Nitivattananon, V. (sep 2010). Sustainable solid waste management toward an inclusive society: Integration of the informal sector. RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING, v. 54, n. 11, p. 802–809.
- [46] Xu, Z. and Coors, V. (jan 2012). Combining system dynamics model, GIS and 3D visualization in sustainability assessment of urban residential development. BUILDING AND ENVIRONMENT, v. 47, p. 272–287.
- [47] Plata-Rocha, W., Gomez-Delgado, M. and Bosque-Sendra, J. (2011). Simulating urban growth scenarios using GIS and multicriteria analysis techniques: a case study of the Madrid region, Spain. Environment and Planning B: Planning and Design, v. 38, n. 6, p. 1012–1031.
- [48] Lino, F. A. M. and Ismail, K. A. R. (jun 2011). Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. ENERGY POLICY, v. 39, n. 6, p. 3496–3502.
- [49] Pires, A., Martinho, G. and Chang, N.-B. (apr 2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, v. 92, n. 4, p. 1033–1050.
- [50] Ezebilo, E. E. and Animasaun, E. D. (FAL 2011). Households' perceptions of private sector municipal solid waste management services: A binary choice analysis. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, v. 8, n. 4, p. 677–686.
- [51] Moutavtchi, V., Stenis, J., Hogland, W. and Shepeleva, A. (jun 2010). Solid waste management by application of the WAMED model. JOURNAL OF MATERIAL CYCLES AND WASTE MANAGEMENT, v. 12, n. 2, p. 169–183.
- [52] Herva, M. and Roca, E. (2013). Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. Journal of Cleaner Production, v. 39, n. 0, p. 355 – 371.
- [53] Dai, C., Li, Y. P. and Huang, G. H. (dec 2011). A two-stage support-vector-regression optimization model for municipal solid waste management - A case study of Beijing, China. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, v. 92, n. 12, p. 3023–3037.
- [54] Sun, H. G., Li, Y. P., Huang, G. H. and Suo, M. Q. (aug 2011). An inexact fuzzy-queue programming model for environmental systems planning. ENGINEERING APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, v. 24, n. 5, p. 840–849.
- [55] Zhu, H. and Huang, G. H. (dec 2011). SLFP: A stochastic linear fractional programming approach for sustainable waste management. WASTE MANAGEMENT, v. 31, n. 12, p. 2612–2619.
- [56] Sun, Y., Li, Y. and Huang, G. (jun 2010). Development of a Fuzzy-Queue-Based Interval Linear Programming Model for Municipal Solid Waste Management. ENVIRONMENTAL ENGINEERING SCIENCE, v. 27, n. 6, p. 451–468.

- [57] Sun, Y., Huang, G. H. and Li, Y. P. (aug 2010). ICQSWM: An inexact chance-constrained quadratic solid waste management model. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 54, n. 10, p. 641–657.
- [58] Jin, L. (jul 2011). A type-II fuzzy optimization model for municipal solid waste management. In *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2011 Eighth International Conference on.
- [59] Cao, M. F., Huang, G. H., Sun, Y., Xu, Y. and Yao, Y. (dec 2010). Dual inexact fuzzy chance-constrained programming for planning waste management systems. *STOCHASTIC ENVIRONMENTAL RESEARCH AND RISK ASSESSMENT*, v. 24, n. 8, p. 1163–1174.
- [60] Tan, Q., Huang, G. H. and Cai, Y. P. (sep 2010). Waste management with recourse: An inexact dynamic programming model containing fuzzy boundary intervals in objectives and constraints. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, v. 91, n. 9, p. 1898–1913.
- [61] Shan, C. S. (sep 2010). Projecting municipal solid waste: The case of Hong Kong SAR. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 54, n. 11, p. 759–768.
- [62] Angus, A., Casado, M. R. and Fitzsimons, D. (mar 2012). Exploring the usefulness of a simple linear regression model for understanding price movements of selected recycled materials in the UK. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 60, p. 10–19.
- [63] Feng, C. Y. and Qiong, H. X. (sep 2011). Research on city waste production forecast based on background value optimizing GM(1,1) model. In *Grey Systems and Intelligent Services (GSIS)*, 2011 IEEE International Conference on. p. 369–372
- [64] Ekmekcioglu, M., Kaya, T. and Kahraman, C. (sep 2010). Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. *WASTE MANAGEMENT*, v. 30, n. 8-9, p. 1729–1736.
- [65] Srivastava, A. K. and Nema, A. K. (apr 2012). Fuzzy parametric programming model for multi-objective integrated solid waste management under uncertainty. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, v. 39, n. 5, p. 4657–4678.
- [66] Guo, P. and Huang, G. H. (mar 2010). Interval-parameter semi-infinite fuzzy-stochastic mixed-integer programming approach for environmental management under multiple uncertainties. *WASTE MANAGEMENT*, v. 30, n. 3, p. 521–531.
- [67] Nazari, A., Salarirad, M. M. and Bazzazi, A. A. (mar 2012). Landfill site selection by decision-making tools based on fuzzy multi-attribute decision-making method. *ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES*, v. 65, n. 6, p. 1631–1642.
- [68] Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J. and Kabba, V. T. S. (2013). Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, v. 36, n. 0, p. 3 – 12.
- [69] Effat, H. A. and Hegazy, M. N. (2012). Mapping potential landfill sites for North Sinai cities using spatial multicriteria evaluation. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, v. 15, n. 2, p. 125 – 133.

- [70] Rafiee, R., Khorasani, N., Mahiny, A. S., et al. (may 2011). Siting Transfer Stations for Municipal Solid Waste Using a Spatial Multi-Criteria Analysis. ENVIRONMENTAL & ENGINEERING GEOSCIENCE, v. 17, n. 2, p. 143–154.
- [71] Vasiljevic, T. Z., Srdjevic, Z., Bajcetic, R. and Miloradov, M. V. (feb 2012). GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transitional Countries: A Case Study From Serbia. ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, v. 49, n. 2, p. 445–458.
- [72] Korucu, M. K. and Erdagi, B. (dec 2012). A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes. WASTE MANAGEMENT, v. 32, n. 12, p. 2315–2323.
- [73] Tavares, G., Zsigraiová, Z. and Semiao, V. (2011). Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. Waste Management, v. 31, n. 9–10, p. 1960 – 1972.
- [74] Khadivi, M. R. and Ghomi, S. M. T. F. (jun 2012). Solid waste facilities location using of analytical network process and data envelopment analysis approaches. WASTE MANAGEMENT, v. 32, n. 6, p. 1258–1265.
- [75] Galante, G., Aiello, G., Enea, M. and Panascia, E. (2010). A multi-objective approach to solid waste management. Waste Management, v. 30, n. 8–9, p. 1720 – 1728.
- [76] Guzman, J. B., Paningbatan, Jr., E. P. and Alcantara, A. J. (2010). A Geographic Information Systems-Based Decision Support System for Solid Waste Recovery and Utilization in Tuguegarao City, Cagayan, Philippines. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND MANAGEMENT, v. 13, n. 1, p. 52–66.
- [77] Revetria, R., Testa, A. and Cassettari, L. (dec 2011). A generalized simulation framework to manage logistics systems: a case study in waste management and environmental protection. In Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter. p. 943 -952
- [78] Lijuan, L. and Haisheng, L. (oct 2010). Study on an improved genetic algorithm for facility location problem in forward and reverse logistics. In Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference on.
- [79] House, B. W., Capson, D. W. and Schuurman, D. C. (may 2011). Towards real-time sorting of recyclable goods using support vector machines. In Sustainable Systems and Technology (ISSST), 2011 IEEE International Symposium on. p. 1- 6
- [80] Nawrocky, M., Schuurman, D. C. and Fortuna, J. (2010). VISUAL SORTING OF RECYCLABLE GOODS USING A SUPPORT VECTOR MACHINE. In 2010 23RD CANADIAN CONFERENCE ON ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING (CCECE). , Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering.
- [81] Shahbudin, S. ., Hussain, A. ., Wahab, D. A. ., Mustafa, M. M. . and Ramli, S. . (2010). Support vector machines for automated classification of plastic bottles. In Proceedings - CSPA 2010: 2010 6th International Colloquium on Signal Processing and Its Applications.
- [82] Ning, C., Chong, B. and Xueyu, Z. (jul 2010). Research on logistics operations management system of urban solid waste. In Environmental Science and Information

- Application Technology (ESIAT), 2010 International Conference on. v. 2, p. 269 - 272
- [83] Tian, Z. (sep 2011). Strategy of Recycling Waste Resource with Governmental Incentives and Funds. In Information Technology, Computer Engineering and Management Sciences (ICM), 2011 International Conference on.
 - [84] Karmperis, A. C., Aravossis, K., Tatsiopoulou, I. P. and Sotirchos, A. (2013). Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches. *Waste Management*, n. 0,
 - [85] Gellynck, X., Jacobsen, R. and Verhelst, P. (2011). Identifying the key factors in increasing recycling and reducing residual household waste: A case study of the Flemish region of Belgium. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 10, p. 2683–2690.
 - [86] Tao, J. (mar 2010). Reverse Logistics Information System of E-waste Based on Internet. In Challenges in Environmental Science and Computer Engineering (CESCE), 2010 International Conference on. v.1, p. 447 -450
 - [87] Ren, L. and He, Y. (aug 2010). Optimization of Forward/Reverse Logistics Networks for Electronic Products. In Information Science and Management Engineering (ISME), 2010 International Conference of. v. 2, p. 536 -538
 - [88] Achillas, C., Aidonis, D., Vlachokostas, C., et al. (sep 2012). A multi-objective decision-making model to select waste electrical and electronic equipment transportation media. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 66, p. 76–84.
 - [89] Wang, F., Huisman, J., Meskers, C. E. M., et al. (nov 2012). The Best-of-2-Worlds philosophy: Developing local dismantling and global infrastructure network for sustainable e-waste treatment in emerging economies. *WASTE MANAGEMENT*, v. 32, n. 11, p. 2134–2146.
 - [90] Hameed, S. A. (2012). Controlling computers and electronics waste: Toward solving environmental problems. In 2012 International Conference on Computer and Communication Engineering, ICCCE 2012. p. 972-977
 - [91] Adeola, A. M. and Othman, M. (sep 2011). An overview of ICT waste management: Suggestions of best practices from developed countries to developing nations (Nigeria). In Networked Computing (INC), 2011 The 7th International Conference on. p. 109 - 115
 - [92] Araujo, M. G., Magrini, A., Mahler, C. F. and Bilitewski, B. (feb 2012). A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *WASTE MANAGEMENT*, v. 32, n. 2, p. 335–342.
 - [93] Trappey, A. J. C., Trappey, C. V. and Wu, C.-R. (2010). Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. *Expert Systems with Applications*, v. 37, n. 11, p. 7329 – 7335.
 - [94] Zhi, G.-J., Dong, X. and Zhang, R.-X. (oct 2010). Application of genetic algorithms for the design of WEEE logistics network model. In Intelligent Computing and Integrated Systems (ICISS), 2010 International Conference on. p. 49-52

- [95] Zhang, K., Cang, P., Song, F. and Geldermann, J. (aug 2010). Research on STOF-Model-Based Innovation of E-Waste Recycling Service System. In Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference on. p. 1-5
- [96] Zhang, K., Cang, P., Geldermann, J. and Song, F. (may 2010). Research on innovative information-flow management of e-waste recycling network based on cloud computing. In Control and Decision Conference (CCDC), 2010 Chinese. p. 1049 -1053
- [97] Kuo, T. C. (feb 2010). The construction of a collaborative-design platform to support waste electrical and electronic equipment recycling. ROBOTICS AND COMPUTER-INTEGRATED MANUFACTURING, v. 26, n. 1, p. 100–108.
- [98] Zhang, Z., Wang, Y., Cui, J. and Zhang, L. (sep 2011). Research progress of WPCB beneficiation technology. In Power Engineering and Automation Conference (PEAM), 2011 IEEE. v.3, p. 274 -277
- [99] Achillas. C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N and Baniyas, G. (2010). Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants : A case study in Greece. Waste Management, v. 30, n. 5, p. 870 – 879
- [100] Achillas, C., Vlachokostas, C., Aidonis, D., et al. (2010). Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment. Waste Management, v. 30, n. 12, p. 2592 – 2600.
- [101] Fan, Y., Huang, G. and Veawab, A. (2012). A generalized fuzzy linear programming approach for environmental management problem under uncertainty. JOURNAL OF THE AIR WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION, v. 62, n. 1, p. 72–86.
- [102] Chatzouridis, C. and Komilis, D. (mar 2012). A methodology to optimally site and design municipal solid waste transfer stations using binary programming. RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING, v. 60, p. 89–98.
- [103] Zhong, H. and Schiller, S. (jun 2011). Design of the expense allocation mechanism in e-waste recycling deposit system under EPR framework. In Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2011 8th International Conference on.
- [104] Zhong, H. and Zhao, C. (jul 2012). E-waste Deposit system under EPR in China: A view from closed-loop supply chain. In Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2012 9th International Conference on.
- [105] Zhao, D. and Shao, H. (oct 2010). The construction of management system model for environmental assessment of solid waste. In Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS), 2010 IEEE International Conference on.
- [106] Paul, J. G. ., Arce-Jaque, J. ., Ravena, N. . and Villamor, S. P. . (2012). Integration of the informal sector into municipal solid waste management in the Philippines - What does it need? Waste Management, v. 32, n. 11, p. 2018–2028.
- [107] Phuc, P. N. K., Yu, V. F. and Chou, S.-Y. (nov 2012). Optimizing the fuzzy closed-loop supply chain for electrical and electronic products. In Fuzzy Theory and it's Applications (iFUZZY), 2012 International Conference on.
- [108] Jang, Y.-C. (2010). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) management in Korea: Generation, collection, and recycling systems. Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 12, n. 4, p. 283–294.

- [109] Mallawarachchi, H. and Karunasena, G. (nov 2012). Electronic and electrical waste management in Sri Lanka: Suggestions for national policy enhancements. *RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING*, v. 68, p. 44–53.
- [110] MI, L.; LIU, N.; ZHOU, B. Disposal Methods for Municipal Solid Wastes and Its Development Trend *Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE)*, 2010 4th International Conference on. *Anais...* jun. 2010
- [111] Tai, J., Zhang, W., Che, Y. and Feng, D. (aug 2011). Municipal solid waste source-separated collection in China: A comparative analysis. *WASTE MANAGEMENT*, v. 31, n. 8, p. 1673–1682.
- [112] Zhou, X. and Kuhl, M. E. (dec 2011). A sustainability toolkit for simulation: Recent developments and future capabilities. In *Simulation Conference (WSC)*, Proceedings of the 2011 Winter.
- [113] Zhou, X. and Kuhl, M. E. (dec 2010). Design and development of a sustainability toolkit for simulation. In *Simulation Conference (WSC)*, Proceedings of the 2010 Winter.
- [114] Xu, K. and Cong, H. (apr 2011). A Framework of Sustainable Supply Chain Management in Beijing Environmental Logistics. In *Computational Sciences and Optimization (CSO)*, 2011 Fourth International Joint Conference on.
- [115] Lazarevic, D. . B c, Aoustin, E. ., Buclet, N. . and Brandt, N. . (2010). Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 2, p. 246–259.
- [116] Zhou, J., Huang, P., Zhu, Y. and Deng, J. (nov 2012). A quality evaluation model of reuse parts and its management system development for end-of-life wheel loaders. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, v. 35, p. 239–249.
- [117] Firdaus, G. and Ahmad, A. (2010). Management of urban solid waste pollution in developing countries. *International Journal of Environmental Research*, v. 4, n. 4, p. 795–806.
- [118] Bovea, M. D., Ibanez-Fores, V., Gallardo, A. and Colomer-Mendoza, F. J. (nov 2010). Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. *WASTE MANAGEMENT*, v. 30, n. 11, p. 2383–2395.
- [119] Samanlioglu, F. (2013). A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. *European Journal of Operational Research*, v. 226, n. 2, p. 332 – 340.
- [120] Banias, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N. and Papaioannou, I. (2011). A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Management*, v. 31, n. 12, p. 2497 – 2502.
- [121] Kuo, Y.-L. and Perrings, C. (nov 2010). Wasting Time? Recycling Incentives in Urban Taiwan and Japan. *ENVIRONMENTAL RESOURCE ECONOMICS*, v. 47, n. 3, p. 423–437.

- [122] Yang, Q. Z. and Shen, Z. Q. (jun 2010). Managing sustainability for the development of sustainable recycling technologies. In Management of Innovation and Technology (ICMIT), 2010 IEEE International Conference on.
- [123] Lavee, D. and Khatib, M. (nov 2010). Benchmarking in municipal solid waste recycling. WASTE MANAGEMENT, v. 30, n. 11, p. 2204–2208.
- [124] Chen, C.-C. (oct 2010). A performance evaluation of MSW management practice in Taiwan. RESOURCES CONSERVATION AND RECYCLING, v. 54, n. 12, p. 1353–1361.
- [125] Lu, H. W., Huang, G. H., Xu, Y. and He, L. (dec 2012). Inexact two-phase fuzzy programming and its application to municipal solid waste management. ENGINEERING APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELIGENCE, v. 25, n. 8, p. 1529–1536.
- [126] UFSCar - Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software - Ferramenta de Revisão Bibliográfica StART <http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start.tool>
- [127] JABREF - Sistema de Gestão de Referências Bibliográficas <http://jabref.sourceforge.net/>
- [128] Zotero - Sistema de Gestão de Referências Bibliográficas <http://www.zotero.org/>
- [129] EndNote - Sistema de Gestão de Referências Bibliográficas <http://endnote.com/>
- [130] Mendeley - Sistema de Gestão de Referências Bibliográficas <http://www.mendeley.com/>
- [131] Vicente, A. A., Delamaro, M. E., Maldonado, J. C. (2009). Uma Revisão Sistemática sobre a Atividade de Teste de Software em Métodos Ágeis. Em: XXXV Conferencia Latinoamericana de Informática (CLEI 2009).
- [132] Chiavenato, Idalberto (2003). Introdução à teoria geral da administração: uma visão abrangente da moderna administração das organizações. RJ: Elsevier 7 ed.
- [133] Simon, H. A. O. Administrative Behavior. Simon and Schuster, 1997. 4th ed.
- [134] Andrade, E. L. (2004). Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e modelos para Análise de Decisões. RJ: LTC. 3ed.
- [135] Araújo, A. G. e Almeida, A. T. (2009) Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método Promethée. Revista Gestão da Produção, São Carlos, v.16, p.534-543.
- [136] Rao, S. S. (2009). Engineering optimization : theory and practice. JOHN WILEY SONS, INC.–4th ed.
- [137] Jannuzzi, P. M., Miranda, W. L., Silva, D. S. G. (2009). Análise Multicritério e Tomada de Decisão em Políticas Públicas: Aspectos Metodológicos, Aplicativo Operacional e Aplicações. Revista Informática Pública ano 11, pag. 69 – 87
- [138] Giupponi, C. et al (2006). Sustainable Management of Water Resources: an integrated approach. Multi-Criteria Decision Making in Water Resources Management. Edward Elgar Publishing. Massachusetts: USA. pag. 98-128
- [139] Alves, M.J.T.G. (2000). Apoio à Decisão em Problemas de Programação Inteira e Inteira-mista Multiobjective: Contribuições Metodológicas Dissertação apresentada

à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Doutor em Organização e Gestão de Empresas, especialidade de Investigação Operacional. Coimbra: Portugal

- [140] Lopes, Y. e Costa, A. P. C. (2007) Modelo de decisão para seleção de sistemas de Informação baseado em decisão multicritério e Programação inteira 0-1. Revista gestão industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná. ISSN 1808-0448 / v. 03, n. 04:p 135-146
- [141] SOBRAPO- Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional. www.sobrapo.org.br
- [142] INFORMS- The Institute for Operations Research and the Management Sciences. <https://www.informs.org/>
- [143] Melaré, A., González, S. M. e Faceli, K. (2014). Ferramenta acheseuecoponto: Aproximando a população dos pontos de coleta de resíduos sólidos urbanos. Workshop da Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais-WCAMA 2014. Brasília.

5. Apêndice

String de Busca e filtros adotados nas plataformas de pesquisas

- **IEEE - 1895 publicações retornadas - Data da Pesquisa: 25/02/2013**
 (("Abstract": recycling OR recyclable OR recycled OR reusable OR solid waste OR msu OR reuse of materials OR sustainability OR urban waste solids OR waste solid OR garbage recycling OR recycling cooperative OR recyclable cooperative OR recyclables cooperative OR recycled cooperative OR reusable cooperative OR recycling wastes OR waste collectors OR waste collector OR waste management OR electronic waste) AND (p_Abstract:decision support system OR DSS OR decision support OR business intelligence OR bi OR information technology OR it OR Data mining OR Data warehouse OR Data warehousing OR analytical processing OR analytical procedure OR OLAP OR KDD OR knowledge discovery OR pattern recognition OR machine learning OR geographic information system OR GIS OR geoprocessing OR Geographical Information System) AND (p_Abstract: tool OR system OR software OR application OR model OR modeling OR technique OR method OR project) NOT (p_Abstract: chemical OR organics OR water OR hospital OR medical OR carbon OR agriculture OR electrical energy OR gas OR nanoparticles OR radioactive OR gaseous)) You Refined by: Content Type: Conference Publications Publication Year: 2010 - 2013
- **Science Direct - 203 publicações retornadas - Data da Pesquisa: 25/02/2013**
 pub-date > 2009 and TITLE-ABSTR-KEY(recycling OR recyclable OR recycled OR reusable OR "solid waste"OR MSU OR "reuse of materials"OR sustainability OR "urban waste solids"OR "waste solid"OR "garbage recycling"OR ((recycling OR recyclable OR recyclables OR recycled OR reusable) AND (cooperative OR cooperatives)) or "recycling wastes"or "waste collectors"or "waste collector"or "waste management"or "electronic waste") AND TITLE-ABSTR-KEY("decision support system"OR "DSS"OR "decision support"OR "business intelligence"OR BI OR "information technology"OR IT OR "Data mining"OR "Data

warehouse"OR "Data warehousing"OR "analytical processing"OR "analytical procedure"OR "OLAP"OR "KDD"OR "knowledge discovery"OR "pattern recognition"OR "machine learning"or "geographic information system"or "GIS"or geoprocessing) AND TITLE-ABSTR-KEY(tool OR system OR software OR application OR model or modeling or technique or method or project) AND NOT TITLE-ABSTR-KEY (chemical or organics or water or hospital or medical or carbon or agriculture or "electrical energy"or gas or nanoparticles or radioactive or gaseous)

- **Web of Science - 1764 publicações retornadas - Data da Pesquisa: 25/02/2013**

TS=(recycling OR recyclable OR recycled OR reusable OR "solid waste"OR msu OR "reuse of materials"OR sustainability OR "urban waste solids"OR "waste solid"OR "garbage recycling"OR ((recycling ORrecyclable OR recyclables OR recycled OR reusable) AND (cooperative OR cooperatives)) OR "recycling wastes"OR "waste collectors"OR "waste collector"OR "waste management"OR "electronic waste") AND TS=("decision support system"OR "DSS"OR "decision support"OR "business intelligence"OR bi OR "information technology"OR it OR "Data mining"OR "Data warehouse"OR "Data warehousing"OR "analytical processing"OR"analytical procedure"OR "OLAP"OR "KDD"OR "knowledge discovery"OR "pattern recognition"OR "machine learning"OR "geographic information system"OR "GIS"OR geoprocessing) AND TS=(tool OR system ORsoftware OR application OR model OR modeling OR technique OR method OR project) NOT TS=(chemical OR organics OR water OR hospital OR medical OR carbon OR agriculture OR "electrical energy"OR gas OR nanoparticles OR radioactive OR gaseous) Refined by: Web of Science Categories=(ENVIRONMENTAL SCIENCES OR ENGINEERING ENVIRONMENTAL OR ENVIRONMENTAL STUDIES OR MANAGEMENT OR COMPUTER SCIENCE HARDWARE ARCHITECTURE OR COMPUTER SCIENCE INFORMATION SYSTEMS OR BUSINESS OR COMPUTER SCIENCE THEORY METHODS OR COMPUTER SCIENCE INTERDISCIPLINARY APPLICATIONS OR COMPUTER SCIENCE ARTIFICIAL INTELLIGENCE OR EDUCATION EDUCATIONAL RESEARCH OR GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY OR PLANNING DEVELOPMENT OR URBAN STUDIES) AND Research Areas=(ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY OR AUTOMATION CONTROL SYSTEMS OR ENGINEERING OR ARCHITECTURE OR COMPUTER SCIENCE OR INTERNATIONAL RELATIONS OR BUSINESS ECONOMICS OR EDUCATION EDUCATIONAL RESEARCH OR SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS OR PUBLIC ADMINISTRATION OR URBAN STUDIES OR OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE OR CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY OR SOCIAL SCIENCES OTHER TOPICS OR GEOGRAPHY OR ROBOTICS OR TELECOMMUNICATIONS OR SOCIOLOGY OR PHYSICAL GEOGRAPHY OR INFORMATION SCIENCE LIBRARY SCIENCE)

- **Scopus - 935 publicações retornadas - Data da Pesquisa: 25/02/2013**

TITLE-ABS-KEY(recycling OR recyclable OR recycled OR reusable OR "solid waste"OR msu OR "reuse of materials"OR sustainability OR "urban waste

solids"OR "waste solid"OR "garbage recycling"OR ((recycling ORrecyclable OR recyclables OR recycled OR reusable) AND (cooperative OR cooperatives)) OR "recycling wastes"OR "waste collectors"OR "waste collector"OR "waste management"OR "electronic waste") AND TITLE-ABS-KEY("decision support system"OR "DSS"OR "decision support"OR "business intelligence"OR bi OR "information technology"OR it OR "Data mining"OR "Data warehouse"OR "Data warehousing"OR "analytical processing"OR"analytical procedure"OR "OLAP"OR "KDD"OR "knowledge discovery"OR "pattern recognition"OR "machine learning"OR "geographic information system"OR "GIS"OR geoprocessing) AND TITLE-ABS-KEY(tool OR system ORsoftware OR application OR model OR modeling OR technique OR method OR project) not TITLE-ABS-KEY(chemical OR organics OR water OR hospital OR medical OR carbon OR agriculture OR "electrical energy"OR gas OR-nanoparticles OR radioactive OR gaseous) AND (LIMIT-TO(PUBYEAR, 2013) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2012) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2011) OR LIMIT-TO(PUBYEAR, 2010)) AND (EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Water supply") OREXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Carbon dioxide") OR EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Nitrogen") OR EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Effluents") OR EXCLUDE(EXACTKEYWORD, "Biomass")) AND (EXCLUDE(SUBJAREA, "AGRI") OREXCLUDE(SUBJAREA, "MEDI") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "CHEM") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "CENG") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "BIOC") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "PHYS") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "IMMU") OR EXCLUDE(SUBJAREA,"PHAR") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "ARTS") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "VETE") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "PSYC") OR EXCLUDE(SUBJAREA, "NEUR"))

- **ACM - 665 publicações retornadas - Data da Pesquisa: 25/02/2013** ((Abstract:recycling or Abstract:recyclable or Abstract:reusable or Abstract:"solid urban waste"or Abstract:"msu"or Abstract:"reuse of materials"or Abstract:"sustainability"or Abstract:"recycling cooperative"or Abstract:"recycling wastes"or Abstract:"waste collector"or Abstract:"waste management"or Abstract:"electronic waste") and (Abstract:"decision support system"OR Abstract:DSS OR Abstract:"decision support"OR Abstract:"business intelligence"OR Abstract:BI OR Abstract:"information technology"OR Abstract:IT OR Abstract:"Data mining"OR Abstract:"Data warehouse"OR Abstract:"Data warehousing"OR Abstract:"analytical processing"OR Abstract:"analytical procedure"OR Abstract:OLAP OR Abstract:KDD OR Abstract:"knowledge discovery"OR Abstract:"pattern recognition"OR Abstract:"machine learning"OR GIS OR geoprocessing OR Geographical Information System) AND(Abstract:tool OR Abstract:system OR Abstract:software OR Abstract:application OR Abstract:model or Abstract:modeling or Abstract:technique or Abstract:method or Abstract:method or Abstract:project) NOT (Abstract:chemical OR Abstract:organics OR Abstract:water OR Abstract:hospital OR Abstract:medical OR Abstract:carbon OR Abstract:agriculture OR Abstract:electrical energy OR Abstract:gas OR Abstract: nanoparticles OR Abstract:radioactive OR Abstract:gaseous))

- **Web Knowledge - 2137 publicações retornadas - Data da Pesquisa: 25/02/2013**

Topic=((((recycling OR recyclable OR recycled OR reusable OR "solid waste" OR msu OR "reuse of materials" OR sustainability OR "urban waste solids" OR "waste solid" OR "garbage recycling" OR ((recycling OR recyclable OR recyclables OR recycled OR reusable) AND (cooperative OR cooperatives)) OR "recycling wastes" OR "waste collectors" OR "waste collector" OR "waste management" OR "electronic waste")))) AND Topic=((("decision support system" OR "DSS" OR "decision support" OR "business intelligence" OR bi OR "information technology" OR it OR "Data mining" OR "Data warehouse" OR "Data warehousing" OR "analytical processing" OR "analytical procedure" OR "OLAP" OR "KDD" OR "knowledge discovery" OR "pattern recognition" OR "machine learning" OR "geographic information system" OR "GIS" OR geoprocessing))) AND Topic=((((tool OR system OR software OR application OR model OR modeling OR technique OR method OR project))) NOT Topic((((chemical OR organics OR water OR hospital OR medical OR carbon OR agriculture OR "electrical energy" OR gas OR nanoparticles OR radioactive OR gaseous)))) Refined by: Research Domains=(SCIENCE TECHNOLOGY OR SOCIAL SCIENCES) AND Research Areas=(ENGINEERING OR ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY OR COMPUTER SCIENCE OR BUSINESS ECONOMICS OR CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY OR SOCIAL SCIENCES OTHER TOPICS OR EDUCATION EDUCATIONAL RESEARCH OR GEOLOGY OR GEOGRAPHY OR INFORMATION SCIENCE LIBRARY SCIENCE OR TELECOMMUNICATIONS) AND [excluding] Source Titles=(NATURAL HAZARDS OR OPEN HOUSE INTERNATIONAL OR PROCEEDINGS OF SPIE OR RILEM PROCEEDINGS OR ADVANCES IN BUILDING MATERIALS PTS 1 3 OR AUTOMATION IN CONSTRUCTION OR DYNA OR PROBLEMY EKOROZWOJU OR MARINE POLICY OR TOURISM MANAGEMENT OR BIOLOGICAL CONSERVATION OR PROCEDIA ENGINEERING OR HABITAT INTERNATIONAL OR MINERALS ENGINEERING OR INDUSTRIAL ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH) AND Research Areas=(ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY OR COMPUTER SCIENCE OR BUSINESS ECONOMICS OR GEOGRAPHY OR ROBOTICS OR PUBLIC ADMINISTRATION OR ARCHITECTURE OR INFORMATION SCIENCE LIBRARY SCIENCE OR TELECOMMUNICATIONS OR SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS) Timespan=2010-2013.