

100

SBPN

Reunião Anual da SBPN

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISADORES NIKKEIS

SBPN

SCIENTIFIC JOURNAL

ANAIS DA 10ª REUNIÃO

JICA – Japan International Cooperation Agency

*“Formar os recursos humanos,
promover as nações e
estabelecer as relações de amizade”*

A JICA é um órgão do Governo Japonês, vinculada ao Ministério dos Negócios Estrangeiros, responsável pela implementação dos programas e projetos de cooperação técnica do Japão, com países em desenvolvimento.

O objetivo desta cooperação é de colaborar com os esforços destes países, visando o crescimento sócio-econômico e melhoria das condições de vida de suas populações.

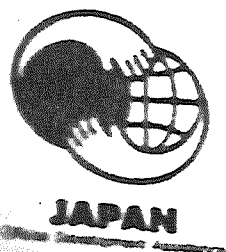
Estas atividades da JICA estão inseridas no âmbito da “Official Development Assistance – ODA” Assistência Oficial para o Desenvolvimento do Governo Japonês.

No Brasil, estas atividades de Cooperação estão reguladas pelo Acordo Básico de Cooperação Técnica Brasil / Japão, assinado em agosto de 1970, e podem ser resumidamente descritas da seguinte forma:

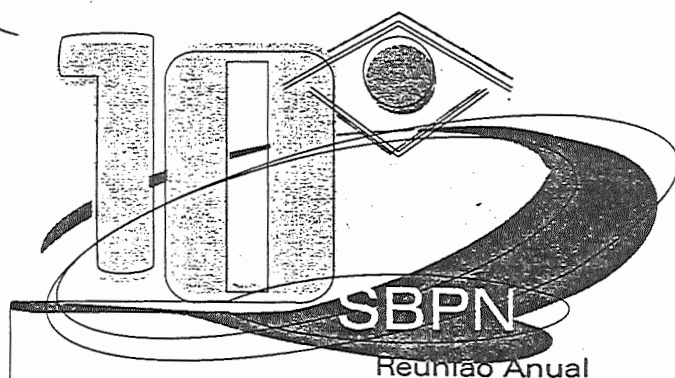
- a. Treinamento no Japão*
- b. Envio de peritos*
- c. Doação de equipamentos*
- d. Cooperação técnica tipo-projeto*
- e. Mini-projeto e cooperação de pesquisa*
- f. Estudos para o desenvolvimento*
- g. Programa de treinamento para terceiros países (TCTP)*

A JICA possui também o serviço de assistência emergencial, com o objetivo de apoiar as nações em desenvolvimento por ocasião de ocorrências naturais no âmbito da defesa civil.

Além das atividades mencionadas, a JICA ainda desenvolve programas de apoio aos imigrantes japoneses e seus descendentes, com o intuito de contribuir para o desenvolvimento do país.



2002



— SBPN 2002 —

**BRAZILIAN SOCIETY OF
NIKKEY RESEARCHERS**

AV. PAULISTA, 37 - CONJ. 11 - 1ª ANDAR
PARAÍSO - SÃO PAULO - SP
01311-902

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISADORES NIKKEIS

Capa: Sergey Nakae Sato
sesssato@terra.com.br



SBPN - Scientific Journal
(Sociedade Brasileira de Pesquisadores Nikkeis)
Anais da 10ª Reunião da SBPN

1997 - 2001, 1 - 5
2002, 6 (Ed. Especial)



ISSN 1415-6512

Este livro foi impresso em sistema digital
com disquetes fornecidos pela Editora, por

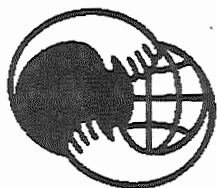
LINEAR B

linearb@ig.com.br
Fone: (11) 3812-8703

Atualmente,
o avanço tecnológico dos meios de informação
e a globalização econômica,
são fatores em maior evidência.

Apesar do meio ambiente ser
uma preocupação mundial,
em muitos países,
saúde, educação, segurança, entre outros
continuam à espera de soluções.

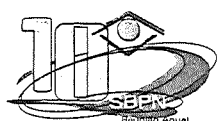
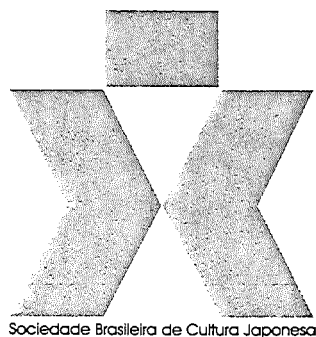
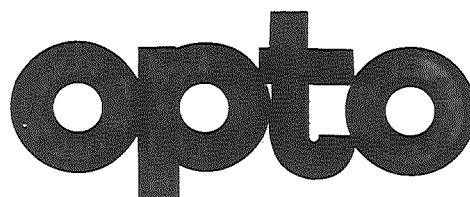
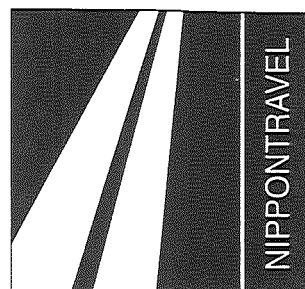
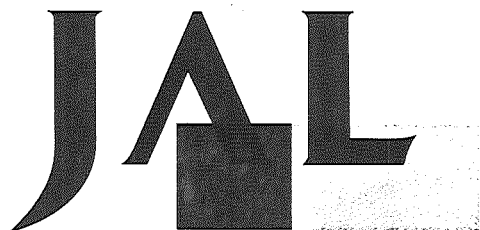
A JICA,
visando a otimização destas questões,
procura cooperar
nos mais diferentes segmentos,
através da transferência de tecnologia.



JAPAN
Official Development Assistance



Japan
International
Cooperation
Agency



EMPREGO DE ALGORITMOS GENÉTICOS (AGs) NO GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM NÍVEL REGIONAL

Jorge Akutsu⁽¹⁾, Luisa Fernanda Ribeiro Reis⁽²⁾ e Godfrey A. Walters⁽³⁾

(1) Depto. de Engenharia Civil, UNESP, Bauru, S. P., joakutsu@feb.unesp.br

(2) Depto. de Hidráulica e Saneamento, USP, São Carlos, S. P., fernanda@sc.usp.br

(3) Department of Engineering and Computer Science, Exeter University, Exeter, Devon EX4 4QF, UK,
g.a.walters@exeter.ac.uk

RESUMO

A situação atual relativa aos resíduos sólidos no Brasil é considerada bastante crítica, uma vez que apenas um pequeno percentual de municípios, ou seja, cerca de apenas 15%, dispõem seus resíduos de uma forma considerada adequada do ponto de vista sanitário e ambiental. Vislumbra-se que o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos em nível regional seja uma alternativa de fundamental importância como suporte à solução desses problemas. Nesses termos, o presente trabalho apresenta um estudo de otimização do planejamento operacional aplicado a uma região hipotética reportada na literatura, para um horizonte de projeto de vinte anos. O estudo foi realizado com o suporte dos Algoritmos Genéticos, que demonstrou grande potencialidade como ferramenta de otimização no caso particular.

1. A PROBLEMÁTICA DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

No Brasil os esforços envidados pelas prefeituras na solução de problemas relativos aos resíduos sólidos urbanos são, quase que de maneira generalizada, todos individuais, mesmo que haja a eventual possibilidade de realização de ações conjuntas com outra(s) prefeitura(s), no sentido de minimizar os ônus de problemas comuns.

Quando se tem em mente a implantação de um sistema de tratamento e destinação final de resíduos sólidos, é notório que o fator escala, no caso a quantidade de resíduos, constitui parâmetro altamente influente na composição do custo total de tal sistema. Além das vantagens do fator escala, iniciativas de trabalhos conjuntos podem viabilizar soluções mais apropriadas em diversas situações. Como exemplo, pode-se citar o caso típico de um grande município que não disponha mais de área para implantação de aterro sanitário e que, no entanto, pelo seu porte e grau de desenvolvimento, pode absorver uma unidade de incineração, que requer infra-estrutura tecnológica e operacional. Uma parceria possibilitaria a esse município dispor seus resíduos sólidos domésticos num aterro sanitário situado em outro município e receber os resíduos de serviços de saúde de outras comunidades, trazendo benefícios ao conjunto.

Todas as questões anteriormente colocadas conduzem ao raciocínio de que um grande passo para resolver os problemas associados aos resíduos sólidos está na busca de parcerias realizadas através de agrupamentos de municípios em níveis regionais. Assim, o presente trabalho tem como objetivo principal formular um modelo de suporte à decisão aplicado ao gerenciamento integrado de resíduos sólidos, com enfoque de soluções e ações integradas e também conjuntas ou regionalizadas.

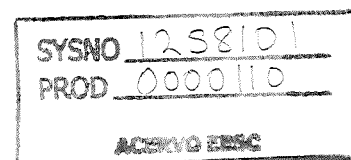
2. APLICAÇÃO DE MODELOS DE OTIMIZAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A literatura reporta diversos e diferentes modelos de otimização utilizados para dar suporte a assuntos relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Incluem-se, no caso, diferentes estudos, em diferentes atividades, tais como: sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos (Chang, Lu e Wei, 1997; Shih e Lin, 1999), programas de reciclagem (Baetz e Neebe, 1994), escolha de áreas para implantação de sistemas de tratamento de resíduos (Giannikos, 1996), escolha de tipos de sistemas de tratamento e destinação final de resíduos (Chang e Li, 1997), gerenciamento de resíduos sólidos industriais (Paruccini e Matarazzo, 1994) e gerenciamento de resíduos sólidos em nível regional (Caruso, Colorni e Paruccini, 1993; Bazzani, 1998; Everett e Modak, 1996), dentre outros.

3. FORMULAÇÃO DO MODELO

O modelo de otimização correspondente ao problema de gerenciamento de resíduos sólidos em nível regional pode ser expresso através da minimização do custo total (F1), obedecendo às restrições de capacidade das diversas unidades componentes do sistema (R1) e de variabilidade da sequência operacional (VSO) ao longo do horizonte de planejamento (R2).

O problema de objetivo único assim definido, para ser resolvido via AGs, deve ter suas restrições inseridas na função objetivo na forma de penalidades. As penalidades R1 e R2 são aplicadas quando se excede a capacidade de qualquer dos aterros ou unidades de processamento e à medida que as VSO ocorram ao longo do período de planejamento, respectivamente. Isto é feito através da introdução de coeficientes de custo



unitário elevados que, multiplicados pelo número de unidades excedentes e/ou número médio de vezes que as VSO ocorreram, é somado à função custo F1.

4. PRINCÍPIOS DE TRABALHO DOS AGs

Os AGs são técnicas de busca estocásticas que tentam imitar matematicamente os mecanismos de seleção natural e genética das populações, em analogia com o processo biológico de sobrevivência e adaptação dos indivíduos mais capazes, cujas premissas são devidamente tratadas em textos como Goldberg (1989). A tecnologia dos AGs apresenta vantagens sobre os métodos de busca tradicionais por utilizar regras de probabilidade na transição de um conjunto de soluções de uma geração para outra, além de possuir flexibilidade quanto aos tipos de funções objetivo, sem exigências quanto a propriedades como continuidade e existência de derivadas. Os campos de aplicação dos AGs incluem problemas com alto grau de complexidade e comportamento não-linear. Também, de acordo com diversas citações da literatura, os AGs tem demonstrado sua capacidade em tratar uma variedade grande de estudos analíticos e empíricos, como, por exemplo, aplicações incluindo programação e sequenciamento, projetos de confiabilidade, programação de rotas de veículos, planejamento, sistemas operacionais, problemas diversos nos setores transportes, finanças e muitos outros.

Os AGs partem de um conjunto de soluções alternativas aleatórias chamado "população", onde cada indivíduo (cromossomo) representa uma solução para o problema em mãos, que reúne um conjunto de atributos na forma de códigos (binários, reais, etc). Tais atributos permitem que os indivíduos sejam avaliados e ordenados de acordo com o critério explicitado pela função objetivo ou de aptidão (*fitness*), de acordo com a qual são reproduzidos ou não.

O processo de criação de uma nova geração de indivíduos é o seguinte: novos cromossomos, chamados "descendentes", são formados pela união de dois cromossomos "pais" da geração atual, através do operador "recombinação" (*crossover*) e, em seguida modificados, através do operador "mutação" (*mutation*). Assim, novas gerações são formadas repetidamente, preservando-se as soluções (cromossomos) que apresentarem as melhores condições e descartando-se as menos qualificadas, mantendo-se o tamanho da população inicial. Tal procedimento tem continuidade até que se obtenha a convergência para uma população de boas soluções para o problema.

Conforme citado anteriormente, tipicamente os AGs trabalham com um conjunto de possíveis soluções simultaneamente, diferentemente de técnicas de otimização convencionais. Esse conjunto é aqui denominado de *população*. Cada solução codificada deste conjunto é referida como *indivíduo ou membro da população*. Uma *geração* é a população em um certo estágio do processo de otimização.

Uma visão geral do processo evolucionário destes algoritmos é apresentada através das seguintes etapas.

Criação de uma população inicial : A simulação do processo evolucionário com os AGs usualmente inicia-se com a criação de uma *população inicial*. Desta forma é definida a primeira geração que representa um conjunto de possíveis soluções codificadas para o problema.

Processo evolucionário propriamente dito: O processo evolucionário consiste nos seguintes estágios:

- Primeiro o algoritmo avalia *fitness*, isto é, a aptidão, de todas as soluções da população;
- Em um segundo passo, a fase de seleção, os indivíduos com os quais o processo terá continuidade são selecionados. Imitando o processo biológico de "sobrevivência dos mais adaptados", os indivíduos que tiverem um nível mais alto de *fitness* tem maior probabilidade de serem escolhidos para realizar recombinação e mutação.
- Os indivíduos selecionados são recombinados e então novas soluções são criadas e submetidas a variações aleatórias eventuais de suas propriedades, através da mutação.

Prosseguindo seguidamente com esse processo artificial de evolução ao longo das gerações, melhores soluções vão sendo sucessivamente obtidas.

Fim do processo : Após um certo número de gerações, o processo é interrompido de maneira a apontar as melhores soluções obtidas pelo algoritmo.

5. IMPLEMENTAÇÃO DOS AGs PARA O ESTUDO DE CASO

Everett e Modak (1996) apresentaram um modelo de programação linear para dar suporte ao gerenciamento de resíduos sólidos em nível regional. Consideraram a existência de uma região hipotética abrigando três cidades de portes bem distintos, com populações, tipos, quantidades e composição dos resíduos previamente estabelecidos. Como dados de entrada do problema inclui-se a existência de sistemas de transferência, processamento, tratamento e destinação final (2 estações de transferência/processamento de material reciclado, 4 aterros sanitários, 1 unidade de compostagem), com respectivas capacidades e custos operacionais unitários definidos. O modelo contempla ainda a opção pela reciclagem ou não de determinados tipos de resíduos com respectivos valores de venda. Considera a possibilidade de se coletar de forma separada resíduos de podas e jardins e respectivo encaminhamento a um sistema de compostagem. Como resposta do modelo, são produzidas as opções relativas aos tipos de tratamento e destinação dos resíduos, bem como opções de reciclagem e compostagem, ao longo de um período de planejamento de 20 anos. Os mesmos dados, cujos detalhes podem ser obtidos de Modak e Everett (1996), foram utilizados para a realização dos ensaios computacionais da presente pesquisa.

Representação das Variáveis de Decisão do Problema:

A técnica de AGs requer a escolha da sistemática de representação das variáveis de decisão do problema. Por tratarem-se de opções distintas, numeráveis e mutuamente exclusivas, as possíveis estratégias operacionais do problema em estudo foram representadas por valores inteiros. Foram estabelecidas 10 variáveis de decisão para cada ano do período de planejamento. Assim, a estratégia de reciclagem para a Cidade 1, por exemplo, poderia assumir os valores 0, 1 e 2, respectivamente representativos das seguintes opções: não realização da reciclagem (NRC), reciclagem tipo (RC1) ou reciclagem tipo (RC2). Por tratar-se de um período de planejamento de 20 anos, o número de variáveis para cada solução do problema totaliza 200 (10 variáveis por ano x 20 anos) variáveis de decisão e o problema combinatório completo correspondente deveria avaliar, portanto, $1,9476.10^{132} = (4116000)^{20} = (3 \times 7 \times 5 \times 2 \times 7 \times 5 \times 7 \times 5 \times 4 \times 4)^{20}$ alternativas.

Operadores e Parâmetros Adotados:

Diversas são as possibilidades de implementação e refinamentos dos operados AGs. Os ensaios computacionais realizados para função de objetivo único (F1) aqui reportados adotaram AGs do tipo *steady state*, seleção baseada no *rank*, com substituição das soluções mais fracas da população anterior, cruzamento simples de um ponto com probabilidade 70%, mutação aleatória por gene com 0.01 de probabilidade, para uma população de 100 indivíduos. Como critério de convergência, adotou-se o número máximo de iterações (5000).

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Conforme mencionado anteriormente, o método dos AGs converge produzindo uma população de soluções alternativas, ao invés de apenas uma. Tal variedade é considerada benéfica, possibilitando uma segunda etapa no processo decisório que norteie outros critérios (meio ambiente, aspectos sociais, etc.), além do custo. A Tabela 1 a seguir apresenta um dos resultados obtidos para o Estudo de Caso desenvolvido.

Tabela 1. Alternativa de tratamento e disposição dos resíduos para as 3 cidades ao longo do período.

Fontes ou origem dos Resíduos	Cronograma e sequenciamento de adoção das alternativas em intervalo de anos							
	Local de Destinação dos Resíduos Sólidos				Utilização de Est. de Transferência		Opções de reciclagem compostagem	
	LF1	LF2	LF3	LF4	TS1	TS2	RCL	CO
Cidade 1		5-8	1-4	9-20			1-6 (0) 7-9 (2) 10-20 (0)	1-19 (1) 20 (2)
Cidade 2	1-10		11-20				1-19 (0)	1-19 (1)
Cidade 3		10-20	1-9				20 (1)	20 (2)
TS1							NA	1-19 (1) 20 (0)
TS2							NA	NA

Legenda: LF_i= aterro sanitário i; TS_j= estação de transferência j; CO= sistema de compostagem; RCL= sistema de recuperação e reciclagem de material; NA= não há.

Os custos unitários de destinação dos resíduos obtidos se apresentaram na faixa de US\$ 63,00/ton contra US\$ 80,00/ton obtidos por Modak e Everett. Tais resultados demonstram as potencialidades dos AGs em “varrer “ espaços de soluções complexos, comuns aos problemas de engenharia como este. Apesar disso, reconhece-se a necessidade de estudos no sentido de dar o tratamento multiobjetivo ao problema, tendo em vista as dificuldades envolvidas no enquadramento dos coeficientes de custo das penalidades. Tais pesquisas constituem alvos de estudo dos autores deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores reconhecem o apoio da FAPESP, USP e UNESP para o desenvolvimento do programa de pós-doutorado dos dois primeiros autores junto à Universidade de Exeter, Inglaterra. Agradecem também à equipe do *Water System Group* da Universidade de Exeter pelo apoio logístico e permissão de uso da Biblioteca de Algoritmos Genéticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BAETZ, B.W. & NEEBE, A.W.(1994) “A Planning Model for the Development of Waste Material Recycling Programmes”. *Journal of the Operational Research Society*, v.45, no.12, pp1347-1384.

BAZZANI, G.M. (1998) “Integrated Solid Waste Management : A Multicriteria Approach”. Sixth Joint Conference on Food, Agriculture and the Environment. Minneapolis, Minnesota.

CARUSO, C.; COLORNI, A ; PARUCCINI, M. (1993). “The Regional Urban Solid Waste Management System: A Modelling Approach”. *European Journal of Operational Research* v.70, no 1 pp 16-30.

CHANG, S.Y. e LI, Z. (1997). Use of a Computer Model to Generate Solid Waste Disposal Alternatives. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol.24, No 1, February 1997.

EVERETT, W. e MODAK,R.; (1996). Optimal Regional Scheduling of Solid Waste Systems. I: Model. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, vol 122, no 9, September, 1996

GIANNIKOS, I (1998). “A multiobjective programming for locating treatment sites and routing hazardous wastes”, *European Journal of Operational Research*, v. 104, p. 333-342.

GOLDBERG, D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, MA:Addison-Wesley.

HOKKANEN, J.& SALMINEN, P.(1994) “The Choice of a Solid Waste Management System By Using the ELECTRE III Decision-Aid Method”, pp 111-153. Capítulo do Livro *Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management*, Printed in the Netherlands.

MODAK,R. e EVERETT, W. (1996). Optimal Regional Scheduling of Solid Waste Systems. II: Model Solutions.

