

MODELO DE PRIORIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM SANEAMENTO BÁSICO UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR COM BASE EM INDICADORES AMBIENTAIS

Nayra Vicente Sousa da Silva¹; Débora Cristina Almeida de Assis²; Roberto Quirino do Nascimento³ & Tarciso Cabral da Silva⁴

RESUMO – Apresenta-se nesta comunicação uma contribuição referente ao desenvolvimento de um modelo de hierarquização de investimentos em saneamento. Utiliza-se a técnica da programação linear, com base em um indicador de salubridade ambiental, o ISA/JP1, Silva (2006). O objetivo é a maximização das condições de salubridade ambiental nas comunidades a serem beneficiadas. Dessa forma, procura-se intervir na alocação dos benefícios relativos às variáveis subindicadoras do ISA/JP1, correspondentes ao saneamento básico. O modelo foi aplicado nas comunidades periurbanas localizadas na bacia do rio Gramame, litoral Sul do estado da Paraíba. Os benefícios propostos, segundo o modelo, resultariam em mudanças significativas, atingindo até a condição de Salubridade Aceitável, conforme os valores de investimentos disponíveis.

ABSTRACT – In this c a contribution concerning the development of a hierarchization of investments in sanitation model is presented. The technique of the linear programming is used, based on an environmental health indicator, the ISA/JP1, Silva (2006). The aim is the maximization of the environmental health conditions in the communities to be benefited. In this way, it is attempted to interfere in the allocation of the benefits related to the sub-indicator variables of the ISA/JP1 corresponding to basic sanitation. The model was applied in five periurban communities of Lower Gramame River Basin, on the Southern Littoral of Paraíba State, Brazil. In this case, the proposed benefits would result in significant changes, reaching the condition of Acceptable Health, according to values of available investments.

PALAVRAS – CHAVE: priorização de investimentos, saneamento básico, salubridade ambiental, programação linear

1) Engenheira Civil, Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Federal da Paraíba UFPB. End: Rua: Radialista Marcone Altamirando, 34 Ernesto Geisel - PB – Brasil Cep 58.075-080 Tel: (83) 3216-7684, e-mail: nayravicent@yahoo.com.br

2) Graduada em Engenharia Civil na Universidade Federal da Paraíba UFPB. e-mail: debora_engcivil@yahoo.com.br

3) Professor Adjunto - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza. e-mail: quirino@de.ufpb.br

4) Professor Titular - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia. e-mail: tarcisocabral@yahoo.com.br

1.0 - INTRODUÇÃO

Os investimentos em infra-estrutura para países em desenvolvimento sempre têm sido um problema de proporções consideráveis. Em particular, na área ambiental, estes não têm merecido a devida consideração frente às inversões em projetos para desenvolvimento econômico, sendo até às vezes conflitantes. Não raro, ocorrem investimentos em obras estruturais com repercussões negativas ao meio ambiente, Silva (2006).

Em termos do meio ambiente urbano, no caso do Brasil, ainda com notórias deficiências em coberturas de sistemas e redes para o saneamento ambiental, os recursos para investimento não são abundantes, mesmo que sejam bastante conhecidas as repercussões positivas na área de saúde pública. Neste contexto, a hierarquização de investimentos em saneamento ambiental se torna indispensável visando à maximização dos benefícios derivados.

Assim, a decisão acerca dos três questionamentos colocados por Teixeira e Heller (2001), “onde investir”, “em que investir” e “quanto investir” deve ser fortalecida e tomada em bases racionais.

Não é raro no Brasil utilizar-se critérios empíricos e demandas políticas, nem sempre legítimas, para priorização de investimentos no setor de saneamento, Teixeira e Heller (2001). Neste sentido, estes autores enfatizam a importância da sistematização de procedimentos metodológicos para o desenvolvimento de modelos de priorização de investimentos em saneamento, segundo indicadores de saúde.

Contudo, verifica-se uma carência de alternativas para atingir esta meta, sobretudo o estabelecimento de procedimentos adequados às condições nacionais, capazes de embasar a construção de modelos que desempenhem o papel de instrumento de auxílio à decisão sobre as prioridades de intervenções para os serviços de saneamento.

Romera e Silva (2000), fazem importantes observações sobre a necessidade de implementação de ferramentas para integração entre serviços ambientais e investimentos governamentais, que levem à implementação de políticas ambientais, objetivando a contribuição para um desenvolvimento ambientalmente sustentável. Propõem ainda uma metodologia baseada em indicadores ecológicos econômicos através dos quais são atribuídas Notas de Enquadramento de Situação (NES) que permitem identificar cada Situação Real Local (SRL), visando à classificação de situações para avaliação ambiental do uso da água por serviços urbanos de saneamento considerando a integração de conteúdos ecológicos e econômicos nas escalas local e regional.

Teixeira e Heller (2001) desenvolveram um modelo de priorização de investimentos em saneamento, segundo critérios epidemiológicos, sanitários, financeiros, e sócio ambiental, aplicando-o em 36 projetos da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG.

Posteriormente, Teixeira e Heller (2003) apresentaram um modelo mais simples de priorização de investimentos em saneamento, com ênfase em indicadores de saúde, construído a partir de uma combinação entre métodos de análise epidemiológica e financeira.

Neves, C. e Neves, M. (2003), propõem um procedimento metodológico para a seleção ou hierarquização de projetos de saneamento. O foco da proposta para a seleção de projetos é a condição de saúde da população a ser beneficiada. A proposta se insere no campo da análise custo-eficácia, e segue esta lógica baseando-se na relação entre benefícios, medidos através de um indicador e o custo medido monetariamente. Para isso sugerem um indicador denominado DALY - *Disability Adjusted Life-Years*, desenvolvido para a área de saúde pública, Murray, 1996 *apud* Neves, C. e Neves, M. (2003).

Alguns critérios de priorização podem ser encontrados em textos de relatórios de estudos e projetos para intervenções em saneamento básico. Baseiam-se normalmente em critérios ambientais, financeiros, sociais e epidemiológicos.

A Fundação Nacional de Saúde /Ministério da Saúde na Portaria nº 151 de 20/02/2006, em seu Art. 3º estabelece que os critérios de prioridade são, essencialmente, indicativos, devendo a FUNASA/Ministério da Saúde quando da priorização das ações, observar as condições específicas da execução dos projetos, a sustentabilidade, variação dos indicadores de saúde e outras questões relativas à viabilidade técnica dos projetos apresentados e o interesse público.

Os critérios e procedimentos básicos estabelecidos pela FUNASA/Ministério da Saúde são fundamentados em dados de saneamento básico e indicadores de saúde que visam ampliar e aprimorar os parâmetros de atuação da Instituição nas ações de saneamento. Buscam maior eficiência na aplicação de recursos financeiros e maiores impactos das ações na qualidade de vida e de saúde da população brasileira. Ainda na Portaria nº 151/2006, as ações de saneamento seguem as diretrizes definidas pela Resolução nº 322/03 do Conselho Nacional de Saúde e a atuação será, prioritariamente, em municípios com população de até 30 mil habitantes, observando critérios epidemiológicos e sanitários com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), bem como aqueles definidos como prioritários pelo Programa Fome Zero do Governo do Federal.

Neste trabalho apresenta-se uma contribuição direcionada à obtenção de procedimentos metodológicos adequados para a priorização de investimentos em saneamento básico, com base em um indicador de salubridade ambiental. O objetivo é otimizar as condições de salubridade ambiental de agrupamentos populacionais não convencionais, tais como ocupações espontâneas e comunidades periurbanas, bem como auxiliar na tomada de decisão quanto aos investimentos, com base na abrangência das variáveis indicadoras que compõem o indicador de salubridade ambiental o ISA/JP1 definido por Silva (2006).

Foi feita uma aplicação nas comunidades periurbanas de Gramame, Engenho Velho, Colinas do Sul, Mumbaba de Baixo e Mituaçu localizadas na bacia hidrográfica do baixo curso do rio Gramame, litoral Sul do estado da Paraíba.

2.0 - METODOLOGIA

2.1 - O Modelo ISA/JP1

A metodologia deste trabalho envolve a proposição de um procedimento baseado em um indicador de salubridade ambiental, o ISA/JP1. Este foi adaptado do modelo ISA/JP proposto por Batista e Silva (2006), no qual é incorporado o subindicador relativo à qualidade da drenagem urbana, o Idu. Já o modelo ISA/JP1 incorpora as condições de moradia ao modelo ISA/JP. A estrutura geral do modelo ISA/JP1 segue a proposta de Dias *et al.*(2004) para o ISA/OE, Indicador de Salubridade Ambiental em Áreas de Ocupação Espontâneas.

O ISA/JP1 é expresso pela média ponderada de indicadores específicos, com avaliação de atributos não apenas quantitativos, mas também qualitativos e da condição da gestão dos sistemas pertinentes. Sua composição é dada conforme Equação (1) e seu valor pode variar de 0 a 1.

$$\text{ISA/JP1} = 0,20 \text{ Iab} + 0,20 \text{ Ies} + 0,15 \text{ Irs} + 0,10 \text{ Icv} + 0,10 \text{ Irh} + 0,10 \text{ Idu} + 0,10 \text{ Icm} + 0,05 \text{ Ise} \quad (1)$$

Onde:

Iab – Subindicador de Abastecimento de Água;

Ies – Subindicador de Esgotos Sanitários;

Irs – Subindicador de Resíduos Sólidos;

Icv – Subindicador de Controle de Vetores;

Irh – Subindicador de Recursos Hídricos;

Idu – Subindicador de Drenagem Urbana;

Icm – Subindicador de Condições de Moradia;

Ise – Subindicador Socioeconômico.

O modelo ISA/JP1 propõe também uma avaliação qualitativa da salubridade ambiental, em complemento à mensuração numérica. Sugere-se faixas numéricas de classificação às quais se atribuem situações de salubridade ambiental. Esta proposta de classificação da

performance da salubridade ambiental foi adaptada de Batista e Silva (2006), no qual se inseriu uma nova situação, de Salubridade Aceitável, conforme apresentado no Tabela 1. Silva (2006) propôs esta nova faixa de classificação e justifica devido o amplo intervalo da situação Salubre apresentada no modelo ISA/JP. Assim, para restringir o alcance da situação Salubre foi reduzido seu intervalo incorporando a nova faixa já mencionada.

Tabela 1 – Situação de salubridade ambiental por faixa de situação (%)

Situação da Salubridade Ambiental	Pontuação do ISA/JP1
Insalubre (INS)	0 – 25,50
Baixa salubridade (BSB)	25,51 – 50,50
Média salubridade (MSB)	50,51 – 75,50
Salubridade Aceitável (SAC)	75,51 – 90,00
Salubre (SAB)	90,01 – 100,00

2.1.1 - Indicador de Saneamento Básico (I)

A metodologia aqui referida a seguir trata do desenvolvimento de um modelo para a alocação de benefícios em saneamento básico considerando a priorização das possíveis implantações dos investimentos com as quais a função objetivo, correspondente ao subindicador relativo ao saneamento básico, é maximizada, obedecendo-se às restrições do problema.

Com este intuito, definiram-se como os benefícios passíveis de investimentos os relativos ao saneamento básico, conforme mencionado no Projeto de Lei nº 5.296, BRASIL (2005), sendo estes: abastecimento d'água, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais.

Justifica-se tal eleição ao fato de que no modelo ISA/JP1, as variáveis subindicadoras relativas a estes benefícios são contempladas pelos maiores coeficientes lineares, ou seja, um pequeno acréscimo em pelo menos uma destas variáveis produzirá um maior incremento no ISA/JP1. Ademais, são benefícios passíveis de implantação imediata e com maiores impactos na salubridade ambiental, tão logo executada a implantação destes projetos. Ou seja, após a devida colocação em operação, gera imediatamente impactos positivos, diferentemente dos relativos aos temas das outras variáveis que são de respostas lentas ou de aplicação distribuída. Assim, ações de melhoria de renda, por exemplo, são certamente intervenções com respostas obtidas de médio a longo prazo, após o início da adoção de uma política de melhoria e distribuição de renda.

O indicador ISA/JP1, no seu formato aqui explicitado, trata-se de uma combinação linear de variáveis ou subindicadores representantes da natureza dos subcomponentes. Assim, o ISA/JP1 pode ser visto como uma função “ f ” definida como apresentada na Equação 2.

$$\text{ISA/JP1} = f(\text{Iab}, \text{Ies}, \text{Irs}, \text{Idu}, \text{Icv}, \text{Irh}, \text{Icm}, \text{Ise}) \quad (2)$$

Neste formato, nota-se que as quatro primeiras variáveis independentes, representam as funções referentes ao saneamento básico.

As outras variáveis, embora evidentemente contribuam positivamente com o indicador ISA/JP1, não provocam impactos pelo menos semelhante, ao receberem iguais incrementos.

É evidente que uma melhoria nas condições de saneamento básico, implicará em melhorias em outros aspectos da salubridade ambiental como os de saúde pública, representadas pelo indicador Icv.

O indicador ISA/JP1 pode ser entendido como uma soma de dois outros indicadores, sendo um referente ao saneamento básico e o outro referente às variáveis complementares ou descritivas das condições de saúde pública, habitacionais e socioeconômicas. Na verdade, este último refere-se a medidas administrativas ou não estruturais.

Destarte, pode-se escrever o ISA/JP1 na seguinte forma:

$$\text{ISA/JP1} = \text{I} + \text{Ic} \quad (3)$$

Onde, I é o Indicador de Saneamento Básico na forma:

$$\text{I} = 0,20\text{Iab} + 0,20\text{Ies} + 0,15\text{Irs} + 0,10\text{Idu} \quad (4)$$

e Ic é o Indicador de Variáveis Complementares,

$$\text{Ic} = 0,10\text{Icv} + 0,10\text{Irh} + 0,10\text{Icm} + 0,05\text{Ise} \quad (5)$$

Deve ser notado que o I é parcela do ISA/JP1, no que concerne às variáveis referentes ao saneamento básico, conforme preconizado no Projeto de Lei nº. 5.296/05 que institui as Diretrizes para os Serviços Públicos de Saneamento e a Política Nacional de Saneamento Básico – PNS, BRASIL (2005).

2.2 - Modelo de Hierarquização de Investimentos em Saneamento com base no ISA/JP1 e na técnica da Programação Linear

A metodologia agora empregada para otimizar o ISA/JP1, priorizando benefícios nas comunidades segundo critérios pré-definidos apresentado a seguir, abrange a utilização de um modelo matemático de programação linear (PL). Assim, a técnica da programação linear mista é aqui empregada visando a maximização de um função objetivo composta do produto

da população a ser beneficiada em cada comunidade pelo subindicador de saneamento básico, componente do ISA/JP1.

A estrutura do modelo desenvolvido, denominado MPIS/PL, é constituída de uma função objetivo e de um conjunto de restrições, que fazem referência às variáveis do problema. Conforme Prado (1999), a estratégia da PL é resolver o problema de otimização através da transformação das características do problema em um modelo abstrato matemático, que nada mais é do que um conjunto de equações matemáticas.

De uma forma sucinta, um problema de programação linear é um problema de otimização onde a função objetivo é linear, as restrições são inequações ou equações lineares.

Na forma de programação linear inteira mista, trata-se de problemas onde as variáveis podem ser contínuas ou discretas.

O ISA/JP1 é utilizado lançando-se mão de um modelo de programação linear para as variáveis subindicadores de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e drenagem urbana. Este conjunto de subindicadores compõe a variável auxiliar I, já definida na Equação (4).

Com relação à avaliação da performance da salubridade ambiental, no caso referente à parcela correspondente aos serviços de saneamento básico, tem-se na Tabela 2 os valores das faixas de situação para o ISA/JP1 e do I, sendo que a última coluna foi estabelecida através de um percentual relativo das faixas de situação do ISA/JP1.

Tabela 2 – Enquadramento das situações relativas às faixas de performance da Salubridade Ambiental (ISA/JP1) e do Saneamento Básico (I)

Situação da Salubridade Ambiental	Pontuação	
	ISA/JP1	I
Insalubre	0 – 25,50	0 – 16,57
Baixa salubridade	25,51 – 50,50	16,58 – 32,82
Média salubridade	50,51 – 75,50	32,83 – 49,07
Salubridade Aceitável	75,51 – 90,00	49,08 – 58,50
Salubre	90,01 – 100,00	58,51 – 65,00

O modelo de programação linear procura maximizar o indicador ISA/JP1 da cidade, do bairro, do setor ou comunidade, considerando um conjunto de variáveis restritivas de naturezas diversas.

As restrições consideradas são: um valor mínimo aceitável adotado para o ISA/JP1, os valores das intervenções não alocáveis (no caso de pré-existência) nas comunidades obtidos com a aplicação do ISA/JP1, os valores financeiros destes possíveis investimentos e os pesos relativos das variáveis subindicadoras do indicador de saneamento básico (I). Uma outra

restrição é a referente à lógica de implantação de projetos de saneamento: projeto de esgotamento sanitário somente deverá ser alocado caso já exista sistema de abastecimento de água ou sejam conjuntamente alocados.

Para resolvê-lo, o problema foi estruturado com o cumprimento das seguintes etapas:

- I) *Definição das variáveis do problema;*
- II) *Definição da função objetivo;*
- III) *Definição do conjunto de restrições.*

A estrutura do modelo é mostrada detalhadamente a seguir:

I) Definição das variáveis do problema

As variáveis consideradas são as do saneamento básico, referidas ao conjunto que compreende os benefícios: abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o manejo de resíduos sólidos e das águas pluviais.

Assim, tem-se:

A = (1, 2,...k) um conjunto de comunidades (índice j) ou centros urbanos considerados para a recepção dos “s” benefícios.

B = (1, 2, ...s) um conjunto dos benefícios (índice i) possíveis de serem implantados nas “k” comunidades.

Onde,

$$I_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se o benefício "i" for alocado na comunidade "j"} \\ 0 & , \text{ caso contrário} \end{cases}$$

I_j = I da comunidade “j”

No qual,

I_{ij} – Subindicador referente ao benefício “i” alocado na comunidade “j”;

I_j – I (Indicador de Saneamento Básico) da comunidade “j”.

II) Definição da função objetivo

Objetivo:

Maximizar I priorizando as comunidades mais populosas.

Função Objetivo:

$$F = \sum_{j=1}^k p_j I_j \quad (6)$$

Na qual temos,

$$p_j = \frac{n_j}{\sum_{j=1}^k n_j} \quad (7)$$

Onde:

n_j – População da comunidade “j”;

p_j – Coeficiente da comunidade “j” relativo à população total;

k – número de comunidades consideradas no problema.

III) Definição do conjunto de restrições

1ª Restrição:

O custo total da implantação dos benefícios deve ser no máximo um valor fixado.

$$C = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^k C_{ij} I_{ij} \quad (8)$$

Onde:

C_{ij} – Custo de implantação do benefício “i” na comunidade “j”;
 s – número de benefícios considerados no problema.

2ª Restrição:

As intervenções devem proporcionar, no mínimo, um estado de Média Salubridade a cada comunidade.

$$I_j \geq 0,328 \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

O valor mínimo adotado para o I_j considerado equivalente à soma dos pesos das variáveis de saneamento básico incidindo sobre o valor da faixa de enquadramento com Média Salubridade.

3ª Restrição:

Composição do I_j :

$$I_j = \sum_{i=1}^s c_i I_{ij} \quad (10)$$

Onde:

c_i – Peso relativo à importância do benefício “i” incidente nas variáveis subindicadoras.

Deve ser observado que o I_{ij} assume o valor da variável auxiliar W_{ij} nos casos em que já existe uma condição aceitável (onde o sistema já está implantado com pelo menos um dos benefícios) refletindo assim, nos valores das variáveis subindicadoras referentes aos benefícios já implantados.

4ª Restrição:

Quando a variável I_{ij} assumir valor da variável auxiliar, W_{ij} , as frações dos benefícios já instalados devem ter suas participações na função I_j .

$$W_{ij} = f_{ij} I_{ij} \quad (11)$$

Onde:

f_{ij} – Fração do benefício “i” já instalado na comunidade “j”.

5ª Restrição:

Para esta restrição foi estabelecido que apenas as comunidades em que existe abastecimento de água poderão ser contempladas com sistema de esgotamento sanitário.

$$I_{ij} \geq I_{2j} \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (12)$$

Onde:

I_{1j} – Indicador de Abastecimento de Água na comunidade “ i ”;
 I_{2j} – Indicador de Esgotamento Sanitário na comunidade “ j ”.

2.3 - Área de Aplicação - Características

As localidades contempladas neste estudo são as comunidades periurbanas do Baixo Curso do Rio Gramame, sendo elas, Gramame, Engenho Velho, Colinas do Sul, e Mumbaba de Baixo pertencente ao município de João Pessoa e Mituaçu situado no município do Conde no litoral Sul do Estado da Paraíba.

Estas comunidades estão inseridas em zona rural, caracterizados pela presença de atividades agrícola e/ou pecuária nos seus entornos, e pelos costumes e cultura de seus moradores, apesar da proximidade da malha urbana das cidades de João Pessoa e Conde.

Formam aglomerações com características típicas de comunidades periféricas dos centros urbanos, reflexos da atual política econômica e social do Brasil, focado no desenvolvimento excludente, sob os aspectos da má distribuição de renda e da estrutura fundiária. As populações das comunidades são Mumbaba de Baixo, 1.231; Gramame, 450; Mituaçu, 854; Colinas do Sul, 3.935 e Engenho Velho com 864 habitantes; totalizando 7.334 habitantes na ocasião dos levantamentos dos dados em agosto de 2005.

Acrescida a estas realidades observa-se ainda outras peculiaridades inerentes a estas comunidades, resumidas a seguir: i) Ocupação territorial em geral feita de forma espontânea; ii) Comunidades com baixa renda; iii) Maioria de empregos informais e temporários; iv) Baixo grau de escolaridade; v) Precariedade de serviços públicos e infra-estrutura.

2.3 - Aplicação do Modelo MPIS/PL

A aplicação do modelo MPIS/PL, desenvolvido por Silva (2006), permite a otimização do ISA/JP1, alocando-se os benefícios que compõem a variável auxiliar I, considerando para isto o custo de cada intervenção, além de um conjunto de variáveis restritivas e priorizando as comunidades mais populosas.

O modelo foi utilizado para cada percentual do investimento, (5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 100%), relativo ao custo total de implantação das 4 intervenções propostas, onde as respostas de alocação definiam totais de investimentos a serem alocados, nos quais seus valores totais implicavam em resíduos ou diferenças. Por exemplo, informando-se no programa 5% do valor total, ter-se-ia apenas o percentual de 4,86% referente à soma dos valores correspondentes aos benefícios alocados.

Para cada percentual de investimento informado, geraram-se cenários diferenciados de alocação de benefícios e de valores de I, no qual a partir destes foi possível calcular um

ISA/JP1 melhorado considerando estas intervenções. Desta forma, foi possível analisar a performance da salubridade de cada comunidade segundo cada resultado obtido.

Detalha-se a seguir a estrutura do modelo utilizado para a aplicação nas comunidades da Bacia do Baixo Gramame:

$$\text{I) Maximize } F = \sum_{j=1}^5 p_j I_j \quad (13)$$

II) Sujeito a

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^5 C_{ij} I_{ij} \leq \text{Custo (5\% ,10\% ,20\% ,...100\% do total para investimento)} \quad (14)$$

$$I_j \geq 0,328 \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad (15)$$

$$I_j - \sum_{i=1}^4 c_i I_{ij} = 0 \quad (16)$$

$$W_{ij} = f_{ij} I_{ij} \quad (17)$$

$$I_{ij} \geq I_{2j} \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad (18)$$

$$I_j \geq 0, W_{ij} \geq 0, I_{ij} = 0 \text{ ou } I_{ij} = 1 \quad (19)$$

O valor de I_j considerado deve assumir o valor mínimo de 0,5051 ($0,328 = 0,65 \times 0505$), ou seja, equivalendo à Média Salubridade com relação ao saneamento básico.

O modelo descrito foi aplicado nas 5 (cinco) comunidades da Bacia do Baixo Gramame. A Tabela 3 mostra a descrição das variáveis consideradas no problema.

Os valores dos investimentos de cada benefício passíveis de implantação nas comunidades constam na Tabela 4.

Tabela 3 – Descrição das variáveis do problema consideradas no modelo

Índice(i)	Benefícios ou Variáveis Subindicadoras (I_i)	Índice(j)	Comunidades
1	Abastecimento D'Água - SAA	1	Mumbaba de Baixo
2	Esgotamento Sanitário - ES	2	Gramame
3	Coleta, Tratamento e Disposição Final dos Resíduos Sólidos- SRS	3	Mituaçu
4	Drenagem das Águas Pluviais - DU	4	Colinas do Sul
		5	Engenho Velho

Tabela 4 – Resumo dos valores dos investimentos referentes aos diversos benefícios alocáveis nas comunidades

Comunidades	Benefícios Alocáveis (R\$)				Total da Comunidade (R\$)
	SAA	SES	SRS	DU	
Mumbaba de Baixo	0,00 ⁽¹⁾	134.889,00	0,00 ⁽¹⁾	355.747,00	490.636,00
Gramame	0,00 ⁽¹⁾	49.818,00	0,00 ⁽¹⁾	480.210,00	530.028,00
Mituaçu	141.740,00	90.391,00	45.534,00	555.547,00	833.212,00
Colinas do Sul	0,00 ⁽¹⁾	1.064.828,00	0,00 ⁽¹⁾	3.297.763,00	4.362.591,00
Engenho Velho	173.400,00	96.080,00	32.176,00	952.880,00	1.254.591,00
Total	315.140,00	1.436.006,00	77.710,00	5.642.147,00	7.471.003,00

⁽¹⁾ Benefício já existente na comunidade.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do modelo ISA/JP1 aplicados às comunidades estudadas são mostrados a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores dos subindicadores primários e do ISA/JP1 de cada comunidade (%)

Comunidades	População Estimada	Iab	Ies	Irs	Icv	Irh	Idu	Icm	Ise	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾
Mumbaba de Baixo	1.231	93,33	0,00	100,00	56,25	70,00	11,95	64,70	24,21	55,17	MSB
Gramame	450	91,67	0,00	100,00	18,75	70,00	8,52	65,11	70,80	53,11	MSB
Mituaçu	854	33,33	0,00	0,00	50,00	33,33	14,23	58,29	51,92	24,85	INS
Colinas do Sul	3.935	93,33	0,00	100,00	18,75	70,00	15,99	68,09	60,62	53,98	MSB
Engenho Velho	864	33,33	0,00	0,00	56,25	93,33	15,35	64,73	43,49	31,81	BSB

⁽¹⁾ INS – Insalubre; BSB – Baixa Salubridade; MSB – Média Salubridade.

A aplicação do Modelo de Hierarquização de Investimentos em Saneamento com base no ISA/JP1 utilizando a técnica da Programação Linear - MPIS/PL às cinco comunidades gerou 10 cenários de investimentos sendo 5 deles mostrados nas Tabelas 6 a 11. Nestas são vistas as comunidades a serem beneficiadas, os benefícios priorizados (S) ou não (N), ou pré-existent (E) além dos valores de ISA/JP1, as situações de salubridade na conjuntura atual e considerando a implantação do benefício, além dos valores dos investimentos. O modelo responde às alocações de benefícios para as 5 comunidades como um conjunto. Os valores de investimentos alocados são calculados como um percentual do valor total equivalente à soma de todos os investimentos possíveis em todas as comunidades.

Tabela 6 – Resultados obtidos para a alocação de investimentos de 4,65% do valor total, R\$ 347.316,00 e valores do ISA/JP1 atuais e segundo a alocação dos benefícios priorizados

Comunidades	Atual		Benefícios Priorizados				Proposta	
	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾	SAA	SES	SRS	DU	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾
Mumbaba de Baixo	55,17	MSB	E	N	E	N	55,17	MSB
Gramame	53,11	MSB	E	N	E	N	53,11	MSB
Mituaçu	24,85	INS	S	N	N	N	38,18	BSB
Colinas do Sul	53,98	MSB	E	N	E	N	53,98	MSB
Engenho Velho	31,81	BSB	S	N	S	N	60,14	MSB

⁽¹⁾INS – Insalubre; BSB – Baixa Salubridade; MSB – Média Salubridade.

Conforme mostra a Tabela 6, com R\$ 347.316,00 disponíveis para investimento, observa-se que foram alocados apenas os SAA nas comunidades de Mituaçu e Engenho Velho, e SRS, na comunidade de Engenho Velho. Nesta última comunidade, com a implantação destes dois benefícios, simultaneamente, gerou-se melhorias de 28,33% no valor do ISA/JP1, circunstância que permitiu a comunidade sair de uma situação de Baixa Salubridade para a Média Salubridade. Na comunidade de Mituaçu também ocorreu uma melhoria, porém não tão significativa se comparada a Engenho Velho. Seu ISA/JP1 aumentou em pouco mais de 13% e sua situação de salubridade saiu da condição insalubridade para de Baixa Salubridade.

Tabela 7 – Resultados obtidos para a alocação de investimentos de 9,62% do valor total, R\$ 718.494,00 e valores do ISA/JP1 atuais e segundo a alocação dos benefícios priorizados

Comunidade	Atual		Benefícios Priorizados				Proposta	
	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾	SAA	SES	SRS	DU	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾
Mumbaba de Baixo	55,17	MSB	E	S	E	N	75,17	MSB
Gramame	53,11	MSB	E	S	E	N	73,11	MSB
Mituaçu	24,85	INS	S	S	N	N	58,18	MSB
Colinas do Sul	53,98	MSB	E	N	E	N	53,98	MSB
Engenho Velho	31,81	BSB	S	S	S	N	80,14	SAC

⁽¹⁾INS – Insalubre; BSB – Baixa Salubridade; MSB – Média Salubridade; SAC – Salubridade Aceitável.

Com 9,62% do valor total disponível para investimento nos benefícios nas comunidades, foram alocados apenas SAA, em Mituaçu e Engenho Velho; SES, exceto em Colinas do Sul; e SRS, em Engenho Velho, como assim mostra a Tabela 7. Este cenário de priorização permitiu uma evolução de 20% no valor do ISA/JP1 nas comunidades de Mumbaba de Baixo e Gramame; para Mituaçu a melhora foi de 33,33%; e a mais significativa evolução ocorreu na comunidade de Engenho Velho, atingindo um acréscimo de 48,33% no

valor do ISA/JP1, o que permitiu à comunidade sair de uma situação de Baixa Salubridade para uma situação de Salubridade Aceitável.

Tabela 8 – Resultados obtidos para a alocação de investimentos de 14,99% do valor total, R\$ 1.119.775,00 e valores do ISA/JP1 atuais e segundo a alocação dos benefícios priorizados

Comunidades	Atual		Benefícios Priorizados				Proposta	
	ISA/JP1	Situação da Salubridade (1)	SAA	SES	SRS	DU	ISA/JP1	Situação da Salubridade (1)
Mumbaba de Baixo	55,17	MSB	E	S	E	S	83,97	SAC
Gramame	53,11	MSB	E	S	E	N	73,11	MSB
Mituaçu	24,85	INS	S	S	S	N	73,18	MSB
Colinas do Sul	53,98	MSB	E	N	E	N	53,98	MSB
Engenho Velho	31,81	BSB	S	S	S	N	80,14	SAC

(1) INS – Insalubre; BSB – Baixa Salubridade; MSB – Média Salubridade; SAC – Salubridade Aceitável.

Com R\$ 1.119.775,00 de recursos disponíveis para investimento (Tabela 8) alocaram-se SAA e SRS em todas as comunidades que não contavam com estes benefícios; SES, em quase todas as comunidades, com exceção de Colinas do Sul; e por último a DU apenas em Mumbaba de Baixo. Mumbaba de Baixo foi a única comunidade que para este valor de investimento, alocou-se todos os benefícios que se apresentavam ausentes na mesma, com evolução no ISA/JP1 de 28,80%, saindo de Média Salubridade para Salubridade Aceitável. Contudo, foi em Engenho Velho e Mituaçu que ocorreu uma evolução numérica maior em termos de ISA/JP1, de 48,33%. Apesar desta melhoria em ambas, Mituaçu após investimento passa de situação Insalubre para Média Salubridade, enquanto que Engenho Velho passa de Baixa Salubridade para a condição de Salubridade Aceitável. Colinas do Sul foi a única comunidade que não teve alocado nenhum benefício.

Tabela 9 – Resultados obtidos para a alocação de investimentos de 36,68% do valor total, R\$ 2.740.150,00 e valores do ISA/JP1 atuais e segundo a alocação dos benefícios priorizados

Comunidades	Atual		Benefícios Priorizados				Proposta	
	ISA/JP1	Situação da Salubridade (1)	SAA	SES	SRS	DU	ISA/JP1	Situação da Salubridade (1)
Mumbaba de Baixo	55,17	MSB	E	S	E	S	83,97	SAC
Gramame	53,11	MSB	E	S	E	N	73,11	MSB
Mituaçu	24,85	INS	S	S	S	S	81,76	SAC
Colinas do Sul	53,98	MSB	E	S	E	N	73,98	MSB
Engenho Velho	31,81	BSB	S	S	S	N	80,14	SAC

(1) INS – Insalubre; BSB – Baixa Salubridade; MSB – Média Salubridade; SAC – Salubridade Aceitável.

A possível disponibilidade de R\$ 2.740.150,00 para investimento nas comunidades permitiria que em Mumbaba de Baixo e Mituaçu fossem alocados todos os benefícios os quais estas comunidades não contavam; na primeira foram alocados SES+DU; e na segunda comunidade em SAA+SES+SRS+DU, assim como apresenta-se na Tabela 9. Este panorama de investimentos proporcionou grandes evoluções no valor do ISA/JP1 e no estado de salubridade: Mumbaba de Baixo saiu de uma situação de Média para Salubridade Aceitável; Mituaçu saiu da condição Insalubre para a Salubridade Aceitável, registrando-se como uma evolução ainda mais positiva em relação a Engenho Velho. Em Engenho Velho a alocação de SAA+SES+SRS também proporcionou melhorias, saiu de um ISA/JP1 de 30,81% para 80,14%, e uma situação de Baixa Salubridade para a Salubridade Aceitável. Em Colinas do Sul e Gramame foram alocados apenas SES e ambas continuaram na mesma situação de salubridade antes da intervenção, de Média Salubridade.

Tabela 10 – Resultados obtidos para a alocação de investimentos de 79,81% do valor total, R\$ 5.962.576,00 e valores do ISA/JP1 atuais e segundo a alocação dos benefícios priorizados

Comunidades	Atual		Benefícios Priorizados				Proposta	
	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾	SAA	SES	SRS	DU	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾
Mumbaba de Baixo	55,17	MSB	E	S	E	S	83,97	SAC
Gramame	53,11	MSB	E	S	E	S	82,26	SAC
Mituaçu	24,85	INS	S	S	S	N	73,18	MSB
Colinas do Sul	53,98	MSB	E	S	E	S	82,38	SAC
Engenho Velho	31,81	BSB	S	S	S	N	80,14	SAC

⁽¹⁾ INS – Insalubre; BSB – Baixa Salubridade; MSB – Média Salubridade; SAC – Salubridade Aceitável.

Conforme apresenta a Tabela 10, observa-se que Mituaçu e Engenho Velho foram as únicas que não tiveram o benefício DU alocado. Gramame, assim como Mumbaba de Baixo e Colinas do Sul, seriam contemplados com SES + DU.

Os benefícios investidos nestas comunidades proporcionaram um progresso significativo no valor do ISA/JP e, conseqüentemente, na situação de salubridade. Mumbaba de Baixo, Gramame, Colinas do Sul e Engenho Velho atingiram valores do ISA/JP1 maiores do que 80%, evoluçionando assim para a classificação de Salubridade Aceitável.

Mituaçu foi a única a enquadrar-se na situação de Média Salubridade após o investimento. Entretanto, apesar desta situação menos favorável, nesta comunidade ocorreria melhoria bastante positiva, de mais de 48% no valor do ISA/JP1, o que lhe permitiria sair da condição Insalubre.

Tabela 11 – Resultados obtidos para a alocação de investimentos de 100% do valor total, R\$ 7.4171.003,00 e valores do ISA/JP1 atuais e segundo a alocação dos benefícios priorizados

Comunidade	Atual		Benefícios Priorizados				Proposta	
	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾	SAA	SES	SRS	DU	ISA/JP1	Situação da Salubridade ⁽¹⁾
Mumbaba de Baixo	55,17	MSB	E	S	E	S	83,97	SAC
Gramame	53,11	MSB	E	S	E	S	82,26	SAC
Mituaçu	24,85	INS	S	S	S	S	81,76	SAC
Colinas do Sul	53,98	MSB	E	S	E	S	82,38	SAC
Engenho Velho	31,81	BSB	S	S	S	S	88,61	SAC

⁽¹⁾ INS – Insalubre; BSB – Baixa Salubridade; MSB – Média Salubridade; SAC – Salubridade Aceitável.

Para o cenário resumido na Tabela 11 todos os benefícios ausentes nas comunidades foram alocados. Mesmo assim, apesar desta evolução muito significativa, nenhuma comunidade atingiria a situação Salubre. Ressalta-se, portanto a evolução de Mituaçu e Engenho Velho que, na ausência de investimentos, eram as comunidades mais difíceis para o alcance da situação Salubridade Aceitável.

4.0 - CONCLUSÕES

O objetivo do MPIS/PL é oferecer as melhores alternativas de investimento, interpretadas como as que mais contribuem para o aumento da salubridade ambiental com os menores valores de investimento.

No desenvolvimento do modelo para alocação de investimentos em saneamento básico MPIS/PL estabelece-se uma função objetivo além de uma série de critérios multivariados, para alcançar a maximização de uma função, correspondente ao segmento saneamento básico do indicador ISA/JP1, ponderada pelos valores das populações de cada comunidade em análise. As saídas do modelo são as variáveis de alocação 1 ou 0, significando alocação ou não dos diversos benefícios em consideração.

É interessante destacar alguns resultados mais expressivos como, ao se investir apenas 9,62% do valor total, R\$ 718.494,00, registra-se a primeira ocorrência da situação de Salubridade Aceitável, deslocando a comunidade de Engenho Velho da situação de Baixa Salubridade para a Salubridade Aceitável. Outro resultado notável aparece quando 36,68% do valor total são investidos e três das cinco comunidades alcançam à situação de Salubridade Aceitável, enquanto as outras passam a uma condição de Média Salubridade.

O uso do modelo MPIS/PL mostra-se bem sucedido uma vez que oferece mais opções de investimentos de menor porte para mais benefícios em todas as comunidades analisadas,

com respostas bastante positivas expressas no indicador ISA/JP1 para recursos financeiros baixos relativamente ao total dos valores orçados.

Deve-se destacar também que um ponto positivo na concepção do modelo está na versatilidade em oferecer aos gestores públicos um leque de opções visando o aumento de salubridade ambiental, que sejam compatíveis com os recursos disponíveis ou a serem disponibilizados pelas diversas instâncias de governo.

5.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento da pesquisa “Desenvolvimento de um Sistema de apoio à Decisão para a Gestão Urbana baseado em Indicadores Ambientais” – processo CNPq nº 47400/2004-4, em andamento no Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental – LARHENA, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Agradecem ainda à Secretaria Executiva do Meio Ambiente, da Prefeitura Municipal de João Pessoa, Paraíba, pelo apoio à realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BATISTA, M. E. M; SILVA, T. C. da (2006). “*O Modelo ISA/JP – Indicador de Performance para Diagnóstico do Saneamento Ambiental Urbano*”. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p.62-71.

BRASIL. *Projeto de Lei nº. 5.296/2005*. Proposição sujeita a apreciação do plenário. Apresentação em 23 mai. 2005. Em Tramitação na Câmara dos Deputados. Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em: www.camara.gov.br/sileg. Acesso em: 11 Mar. de 2005.

DIAS, M. C.; BORBA, P. C.; MORAES, L. R. S. (2004) “*Índice de Salubridade Ambiental em Áreas de Ocupação Espontâneas: Um Estudo em Salvador – Bahia*”. Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro – RJ, v. 9, n.1, p. 82-92.

NEVES, C.; NEVES, M. dos S. (2003). “*Proposta Metodológica para Seleção e Hierarquização de Projetos de Saneamento*”. In: SIMPÓSIO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10, 2003, Bauru. Anais.... Bauru: UNESP, p, 1-10.

PRADO, D. S. do. (1999). *Programação Linear*. Série Pesquisa Operacional, 1. Belo Horizonte/MG. Editora de Desenvolvimento Gerencial, 208 p.

ROMERA e SILVA, P. A. (2000). “*Contribuição para o Estabelecimento de Metodologia de Suporte à Decisão em Políticas de Saneamento*”. 192 f. Tese (Doutorado em Geociência e Meio Ambiente) – Pós –Graduação em Geociência e meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de Paulista, Rio Claro. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-TG>. Acesso em: 15 Jan. de 2006.

TEIXEIRA, J. C.; HELLER, L. (2001). “*Modelo de Priorização de Investimentos em Saneamento com Ênfase em Indicadores de Saúde: Desenvolvimento e Aplicação em uma Companhia Estadual*”. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 6, n 3-4, p.138-146, Disponível em: <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/posicoes/posicao2001.htm>. Acesso em: 08 ago. de 2006.

_____. (2003). “*Priorização de Investimentos em Saneamento baseada em Indicadores Epidemiológicos e Financeiro*”s. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.8, n 3, p.187-195. Disponível em: <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/.pdf>. Acesso: 08 Ago. de 2006.

SILVA, N. V. S. da (2006). “*As Condições de Salubridade Ambiental das Comunidades Periurbanas da Bacia do Baixo Gramame: Diagnóstico e Proposição de Benefícios*”. 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. Set. de 2006.