

## **II-093 – APLICAÇÃO DE MÉTODO AHP – ANALYTIC HIERARCHY PROCESS – INTEGRADO A MAPAS DE KERNEL PARA PLANEJAMENTO, SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE SUBSTITUIÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO COM FOCO EM MELHORIA OPERACIONAL E RENOVAÇÃO DE ATIVOS**

**Erica Rodrigues Cisar<sup>(1)</sup>**

Analista de Gestão do Departamento de Planejamento Integrado da Diretoria Metropolitana da SABESP

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Sumidouro, 448 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05428-010 - Brasil - Tel: (11) 3388-8661 - e-mail: [ericacisar@sabesp.com.br](mailto:ericacisar@sabesp.com.br)

### **RESUMO**

O trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia que possibilitasse analisar e identificar segmentos de redes coletoras de esgoto com maiores frequência de falhas, totalizando 24.000 km, no território de ação da Diretoria Metropolitana da SABESP.

Para isto adotou-se como metodologia a definição e calibragem com utilização de método AHP, por equipe multidisciplinar, de 8 (oito) critérios, seus respectivos pesos e faixas de criticidades em conjunto com a produção de Mapas de *Kernel* que possibilitaram identificar a intensidade de cada criticidade.

Como resultado, permitiu-se pontuar cada segmento de rede num range de 7.049 notas distintas, possibilitando hierarquizar com maior assertividade as redes com maior probabilidade de falhas.

**PALAVRAS-CHAVE:** AHP, *Kernel*, Substituição de Rede Coletora, Renovação de Ativos, Melhoria Operacional, Tomada de Decisão, Multicritério.

### **INTRODUÇÃO**

A Diretoria Metropolitana da Sabesp – M atua em 39 Municípios do Estado de São Paulo e contém em sua área de atuação territorial 24.000 km de redes coletoras de esgoto, sendo que deste montante 3.414 km de rede tem idade superior a 50 anos.

Por costume, sempre que se fala em substituição de redes, tem-se sempre a ideia que apenas a idade da tubulação é fator relevante na identificação dos trechos a serem substituídos. Porém, a combinação de critérios de causas – como a idade da tubulação – utilizados em conjunto com critérios de efeitos – com obstrução da rede entre outros – tornam a identificação dos trechos mais assertiva e eficaz.

Tentativas anteriores em priorizações de redes foram limitadas de resultados mais eficazes, ora por limitação de software, ora por falta de dados disponíveis na época da elaboração dos estudos.

A necessidade em tornar nossos diagnósticos mais precisos, em diferentes segmentos de atuação da empresa, fez com que utilizássemos como prática a força tarefa de criação de grupos compostos por equipes técnicas detentoras dos conhecimentos específicos necessários para produção de trabalhos e análises de excelência.

Para o desenvolvimento em questão, o desafio foi elaborar um modelo que, de forma rápida e contínua, produzisse uma hierarquização detalhada as redes de água com índices de falhas elevados e que necessitam de substituição utilizando-se para isto de multicritérios focados na melhoria operacional, na renovação de ativos e nos direcionamentos estratégicos de uma empresa de saneamento.

O grupo criado para este desenvolvimento alcançou o objetivo com a aplicação da prática inovadora de utilizar Mapas de *Kernel* (mapas de calor), que estimam a densidade (intensidade x frequência) de uma determinada ocorrência área de um mapa, em conjunto com a ferramenta de apoio a decisão (AHP – *Analytic Hierarchy Process*), que possibilita a elaboração de pesos diferenciados para cada critério, aprimorando e melhorando a assertividade de um ranqueamento, possibilitando visualizar o resultado no segmento de rede coletora de esgoto (menor detalhe possível).

## METODOLOGIA UTILIZADA

Para implementação da solução, foram planejadas e seguidas as seguintes etapas:

- Conhecimento do problema: Revisita a estudos e materiais já existentes disponíveis para o mapeamento de metodologias já aplicadas, limitações encontradas, critérios já utilizados e resultados alcançados.
- Desenho de piloto esquemático: Proposta do modelo composto por elaboração de especificações técnicas para coleta e processamento das informações contendo cronograma das atividades e respectivos prazos.
  - Desenho e aprovação de piloto estrutural para recebimento de dados em softwares de mercado (Office-Microsoft/ArcGis-ESri). O foco do modelo era análise espacial, como premissa o desenho foi feito sobre software de geoprocessamento capaz de produzir Mapas de *Kernel*. Os Mapas de *Kernel* são mapas estatísticos de estimação de curvas de densidades tendo como resultado uma visão geral de intensidade de um determinado processo em toda área de um mapa.
- Coleta, Organização e classificação por faixa de criticidade dos dados oriundos dos critérios selecionados.
- Produção: Aplicação dos dados sobre o modelo especificado para geração do resultado (Ranking).
  - Espacialização dos dados com produção de Mapas de *Kernel*.
  - Aplicação de análise espacial de intersecção entre cada mapa de critério sob a malha das redes coletoras de esgoto para geração de pontuação, de cada segmento de rede, de acordo com a faixa de criticidade que ela se encontrar em determinado critério.
  - Aplicação de ferramenta AHP - *Analytic Network Process* - método que permite a comparação par-a-par de relevância/importância entre cada dupla de critérios e desta forma produzir pesos diferenciados para cada critério.
  - Criação de ranking de notas, para cada segmento de rede, composta pela somatória da nota de criticidade multiplicada pelo peso do seu respectivo critério.
  - Produção de Mapa de Falhas de Redes Coletoras de Esgoto.
  - Validação do produto por equipe desenvolvedora.
- Divulgação e disponibilização de produto final/resultado: divulgação em Fóruns e grupos de trabalho técnicos (GT Esgoto, renovação de ativos, entre outros) e inclusão/disponibilização em plataforma interna de dados da Empresa.
  - Divulgação e disponibilização do produto para manuseio por equipes Gerenciais e Técnicas.

Todas estas etapas foram devidamente mapeadas e documentadas por meio de atas das reuniões específicas para tratamento do modelo e divulgação das mesmas para o grupo técnico e grupo gerencial (equipe multidepartamental).

O grupo multidepartamental foi composto por profissionais que outrora criaram sistemáticas e pilotos pontuais de identificação de redes de coletoras de esgoto para substituição em programas de renovação de ativos e programas de melhoria operacional. Porém nenhum produto conseguiu ser tão abrangente quanto à área de aplicação e preciso na identificação do exato trecho de rede coletora de esgoto. O máximo atingido até então, eram quadriculas espaciais de áreas de tamanho 500 x 500 metros com potenciais índices de falhas, sendo necessário estudo em campo para se chegar a rede efetivamente crítica. Em um segundo caso, o produto alcançou resultado por nomes de ruas em banco alfanumérico, sendo necessário seu reproprocessamento em mapas espaciais para identificação do exato trecho da rua (ruas muito extensas dificultavam a avaliação).

Para o desenvolvimento dos trabalhos foram definidas reuniões quinzenais com os integrantes do grupo. Estas reuniões ocorreram de Setembro/17 a Fevereiro/18 onde cada profissional teve um papel a ser desempenhado:

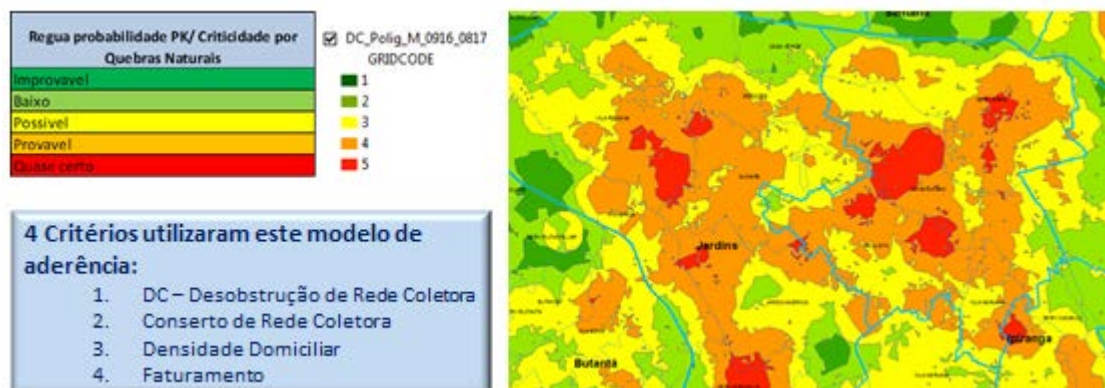
- Gerentes de Departamento de Planejamento: responsável pela escolha da equipe multidisciplinar/multidepartamental e criação de agenda para elaboração do trabalho.
- Equipe multidisciplinar/multidepartamental: formada por engenheiros e analistas de gestão responsáveis pelo estudo, desenho do piloto, coleta e processamento de dados e produção do resultado.
- Fórum Esgoto: formado por gerentes de departamentos de engenharia e de planejamento, gerentes de divisões técnicas de esgoto da Diretoria Metropolitana: responsável pela divulgação dos resultados e aderência dos resultados nas atividades de melhoria operacional e/ou renovação de ativos.
- GT AHP Rede Coletora - Grupo de Trabalho AHP Rede Coletora: Responsável pelas simulações dos resultados sobre acervo de dados pré-existent e aplicação no direcionamento de ações nas atividades fins.
- Cada etapa de desenvolvimento do modelo passou pela estruturação, definições e documentação de todos os padrões adotados assegurando a revisita e repetibilidade anual, a saber:

#### **FASE 1: Mapeamento e tratamento de dados dos critérios selecionados.**

- **Mapas de Kernel:**

Todos os critérios processados por meio de Mapas de *Kernel* deverão ter seus dados processados continuamente na área total do estudo, não permitindo seu processamento ser dividido em partes que causam falha na análise.

- As faixas de criticidade deverão ser criadas automaticamente por meio de ferramenta de geoestatística denominada Quebras Naturais (Método de classificação espacial que melhor agrupam valores similares a um determinado grupo) e deverão utilizar no processamento dos Mapas de *Kernel* parâmetros de *Point Density* para *Cell* no valor 50 e *Radius* no valor 500.



**Figura 1: Exemplo de Mapa de Kernel, configurado em faixas de criticidade**

• **Identificação de Critérios Multicausal:**

- Criação de quadro contendo informação dos critérios, fontes da informação, intervalo de dados e forma de apresentação:

Item	Critério	Origem	Tipo de espacialização possível	Intervalo de dado utilizado
1	Conserto de Rede Coletora	SIGAO	Mapa de Calor – Qtde de Ocorrências por Quadra	1 ano (Set/16 a Ago/17)
2	Desobstrução de Coletor - DC	SIGAO	Mapa de Calor – Qtde de Ocorrências por Quadra	1 ano (Set/16 a Ago/17)
3	Declividade	SIGNOS	Polilinhas com informações das Redes Coletoras	Atual (Ano 2017)
4	Material	SIGNOS	Polilinhas com informações das Redes Coletoras	Atual (Ano 2017)
5	Diâmetro	SIGNOS	Polilinhas com informações das Redes Coletoras	Atual (Ano 2017)
6	Idade	SIGNOS	Polilinhas com informações das Redes Coletoras	Atual (Ano 2017)
7	Densidade Domiciliar	CSI	Mapa de Calor – Qtde de Economias ativas por Quadra	Atual (Set/2017)
6	Faturamento	CSI	Mapa de Calor – Valor Faturado Total – Média 12 meses	1 ano (Set/16 a Ago/17)

Figura 2: Quadro de critérios e seus detalhamentos

- Especificação de Critérios que não se utilizam de Mapas de *Kernel*:  
Especificidades da rede coletora de esgoto, como material, idade, declividade e diâmetro.

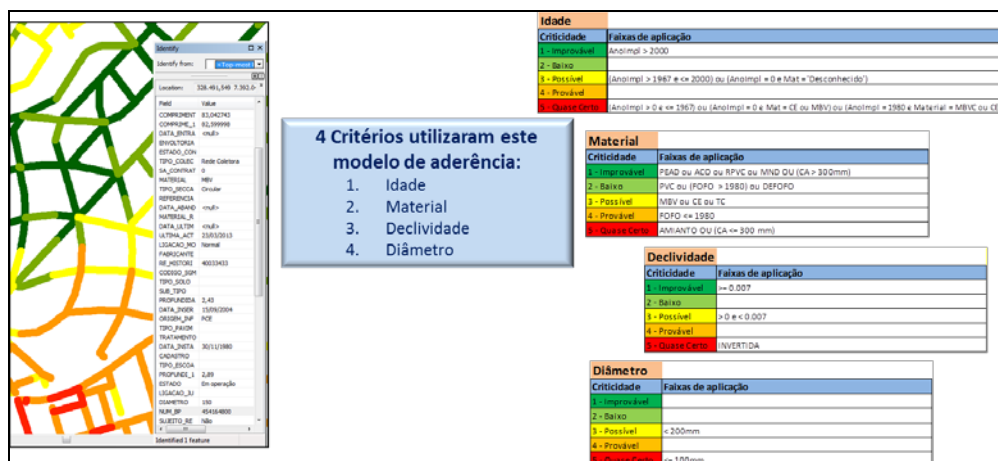


Figura 3: Classificação de criticidades derivadas de polilinhas dos trechos de redes coletoras

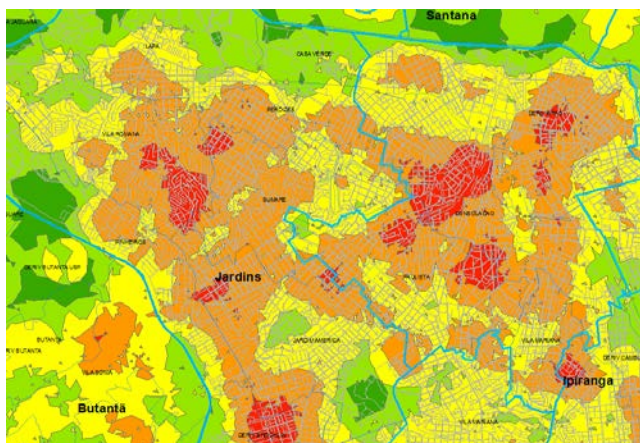


Figura 4: Intersecção Espacial entre Critérios e Redes de Água

- Criação de matriz contendo rastreabilidade de dados SIGAO/CSI utilizados nos critérios visando atualização com mesmos conceitos:

### **FASE 2: Aplicação de AHP e Produção de Ranking:**

Somente a aplicação da soma das criticidades de cada critério por segmento de rede não caracteriza a assertividade de um ranqueamento de priorização. É importante entender que a aplicação de pesos diferenciados para cada critério aprimora e melhora a assertividade de um ranqueamento.

É natural e comum a utilização de ferramentas de análise multicriterial que auxiliam na criação de níveis de importância entre critérios para tomada de decisão. Podemos citar como exemplo ANP – *Analytic Network Process*, o MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* e o AHP – *Analytic Hierarchy Process*, este último escolhido como ferramenta na aplicação desta metodologia.

O AHP é um método que ajuda as pessoas a escolher e justificar a sua escolha, trata-se de um método de *priori*, determinando os critérios e seus pesos a partir das preferências dos decisores. Foi desenvolvido na década de 70 por Thomas Saaty. É baseado em conceitos de matemática e psicologia. A hierarquia do AHP permite que elementos distintos, ou mesmo incomensuráveis, sejam comparados entre si de maneira racional e consistente. A racionalidade provém da quantificação enquanto a consistência é assegurada pelo modelo, utilizando auto- vetores.

A percepção humana por si só, não é capaz de analisar simultaneamente todos os critérios e preferências. O AHP permite a comparação par-a-par de relevância/importância entre cada dupla de critérios. Para cada atributo e para cada par de alternativas os tomadores de decisões indicam suas preferências. Estas preferências são registradas em matrizes na forma de frações entre 1/9 e 9. Cada matriz é avaliada pelo seu autovalor para verificar a coerência dos julgamentos.

A AHP transforma comparações, muitas vezes empíricas, em valores numéricos que são processados e comparados. O peso de cada um dos fatores permite a avaliação de cada um dos elementos. O AHP consegue transformar dados empíricos em modelos matemáticos.

Existem várias tabelas de escala de importância para comparação par-a-par possível de utilização no método AHP. A **Tabela 1** mostra a escala mais utilizada e escolhida na aplicação deste modelo.

**Tabela 1 – Escala de relativa importância de Saaty (SAATY, 2005).**

<b>Escala</b>	<b>Avaliação Numérica</b>	<b>Recíproco</b>
Extremamente preferido	9	1/9
Muito forte a extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Forte a muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igual a moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

A partir da escolha da escala AHP e da aplicação da mesma pelo grupo multidisciplinar sobre os critérios escolhidos calibrou-se os pesos, gerou-se as notas do ranking e produziu mapeamento final conforme etapas a seguir:



- **Documentação da matriz e pesos:** gerada pela aplicação do método AHP - *Analytic Network Process* e pesos finais para reaplicações futuras:



Figura 5: Matriz AHP e resultado dos pesos obtidos para cada critério

- **Especificação de campos:** para calculo de Ranking e aplicação dos valores diretamente na matriz de segmento de redes

DIAMET	DECLIV	Anotacao	Crt Ida	Crt Mat	Crt Dia	Crt Dec	Crt DC	Crt Cons	Crt Ddo	Crt Fat	AHP Ida	AHP Mat	AHP Dia	AHP Dec	AHP DC	AHP Cons	AHP Ddo	AHP Fat	Ranking
150	0.0148	1996	3	3	3	1	2	2	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
150	0	1996	3	3	3	0	3	2	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	2.046
150	0.0127	1996	3	3	3	1	2	2	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	2.046
200	0.0892	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.1364	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0	2003	1	3	0	0	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0881	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0793	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0627	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0178	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0434	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0128	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0100	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0493	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
150	0	2003	1	3	3	0	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0214	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.1159	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0227	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462
200	0.0475	2003	1	3	0	1	1	1	2	1	0.0334	0.0572	0.0393	0.1641	0.2639	0.3989	0.0236	0.0196	1.9462

$$\text{RANKING} = (([Crt\_Ida] * [AHP\_Ida]) + ([Crt\_Mat] * [AHP\_Mat]) + ([Crt\_Dia] * [AHP\_Dia]) + ([Crt\_Dec] * [AHP\_Dec]) + ([Crt\_DC] * [AHP\_DC]) + ([Crt\_ConsRC] * [AHP\_ConsRC]) + ([Crt\_Ddom] * [AHP\_Ddom]) + ([Crt\_Fatur] * [AHP\_Fatur]))$$

Figura 6: Matriz de segmentos de Rede Coletora de Esgoto com aplicação de faixas de criticidade, pesos, calculo de ranking e notas individuais.

- **Documentação para produção de mapa espacial:** baseado em resultado de ranking para controle, atuação e medição dos resultados.

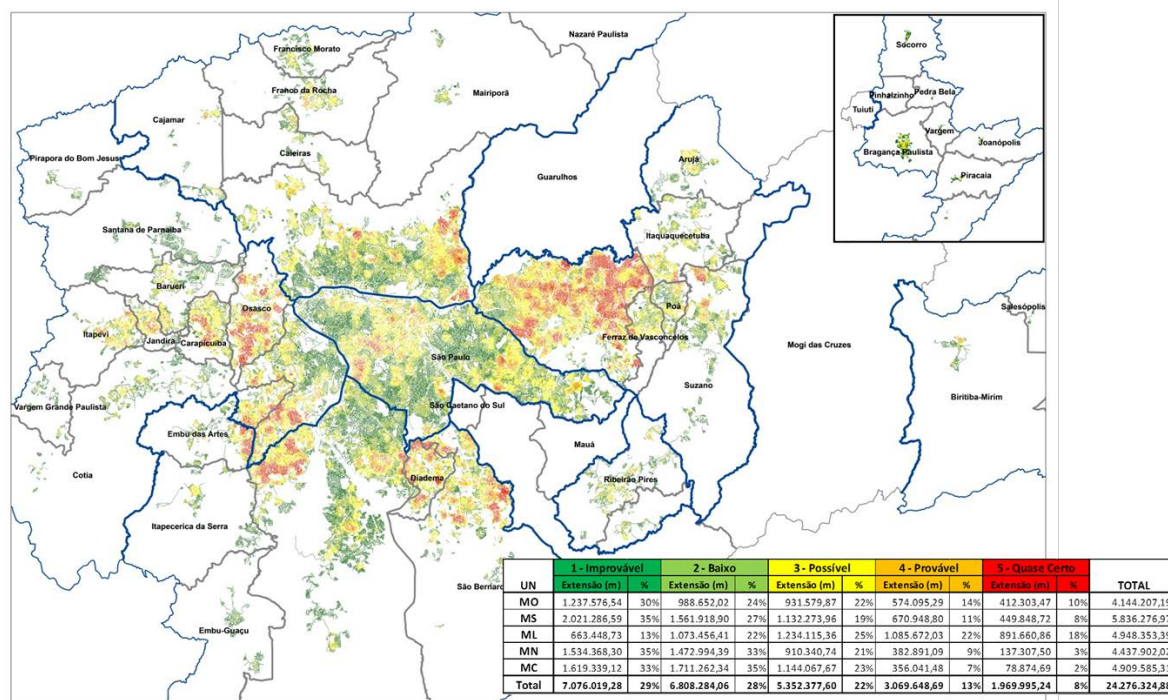


Figura 7: Mapa com resultado do ranking de criticidade para toda área da Diretoria M

## RESULTADOS OBTIDOS/ESPERADOS

Uma vez que o modelo foi todo trabalhado diretamente na tabela vinculada ao arquivo espacial, é possível a fácil e imediata visualização do resultado do ranqueamento através de infinitos mapas e/ou tabelas de cenários.

O mesmo produto pode ser reconfigurado para apresentar resultados diferentes, como por exemplo, a mesma área pode ser configurada para apresentar apenas pontuações mais críticas aderentes a Faixas de Probabilidade de Risco e/ou, subdividindo-as em novas faixas de criticidade conforme demonstrado na **Figura X**.



A Figura 8: Cenários de uma mesma área

É possível ainda, a quantificação de extensões de redes a serem substituídas por Bairros, Áreas Operacionais, diâmetros, materiais e estimativas de custo da substituição baseada em banco de preços existentes. O mesmo cenário da Figura acima, onde temos 185 segmentos de redes selecionados, pode ser apresentado em formato alfanumérico conforme a **Tabela 2**.

**Tabela 2: Apresentação alfanumérica detalhando rede, diâmetro e material**

Material	Diâmetro (mm)	RankQN (Ext m)		Total Geral (m)
		Criticidade 1	Criticidade 2	
PEAD	125	1.174,84		1.174,84
PVC	150	6.960,61	147,21	7.107,83
	200	18,00		18,00
<b>Total Geral (m)</b>		<b>8.153,45</b>	<b>147,21</b>	<b>8.300,67</b>

O resultado do modelo subsidia equipes em diversas áreas (planejamento, engenharia, operacional, entre outras) a atuarem com assertividade nas questões que envolvem solução para as falhas nas redes coletoras de esgoto, facilitando a proatividade na elaboração de soluções específicas para atividade fim de cada uma delas.

A preocupação na elaboração do modelo tendo como premissa aderência e aceitação de utilização por diversas áreas e segmentos da empresa visa facilitar a utilização e prevenir problemas de interpretação do produto final, conseguindo pela primeira vez que pesos e critérios fossem adotados para focos distintos, trabalhando todos em uma mesma régua de solução para questões que envolvem redes coletoras.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

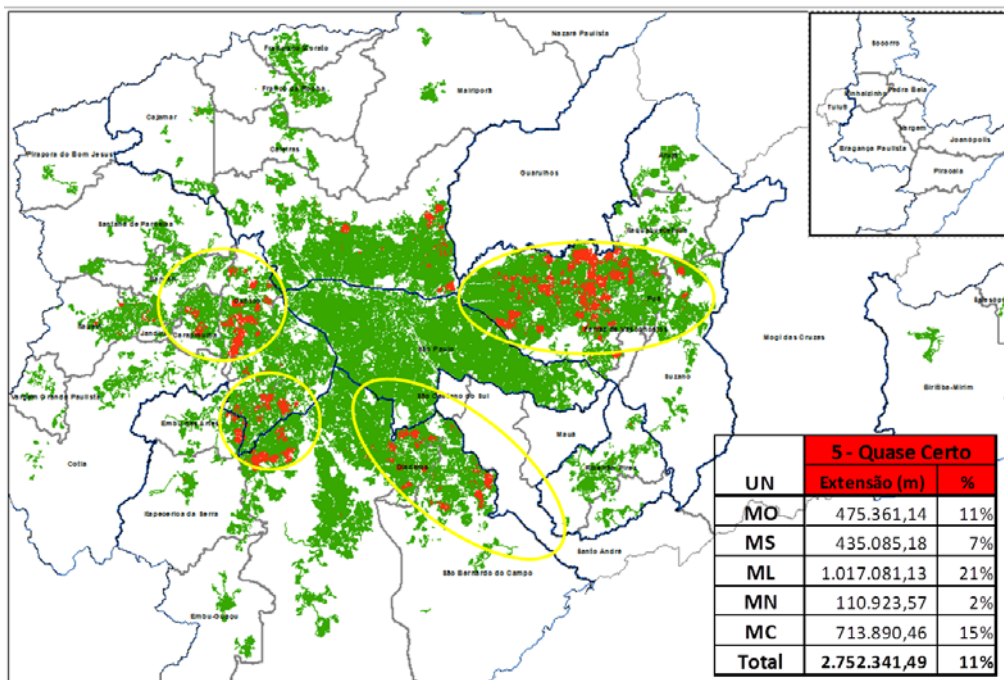
A ferramenta possibilitou a análise uniforme e contínua de um universo de 24.000 km de rede coletora de esgoto onde foi possível detectar os trechos com maiores incidências de falhas, através da pontuação de cada um de seus trechos, num range de 7.049 notas, viabilizando a criação de inúmeros cenários em função do objetivo pretendido e permitindo maior assertividade no planejamento de substituição dos trechos críticos.

Pela primeira vez, um modelo de esgoto consegue produzir como resultado de sua aplicação, uma nota diretamente ao menor nível de detalhamento possível que é o trecho da rede; trechos estes com extensões que chegam a menos de 1 metro e que contém identificador único em nosso banco de dados espacial. Assim, ao se revisitar anualmente o modelo, aplicando o PDCA (método iterativo de gestão de 4 passos), faz-se o cruzamento do anterior com o atual, obtendo com exatidão a medição das ações de substituição e a evolução das manchas de falhas.

Como resultado, tem-se um diagnóstico que possibilita direcionar com mais eficiência as ações de planejamento de substituição de redes; o direcionamento de recursos onde de fato existe um maior potencial de recuperação vazão, a redução de despesas com manutenção e um melhor controle e acompanhamento de metas.



**Resultado: Criticidade 5 – (“Quase Certo”) – Probabilidade alta de problemas**



**Figura 9: Cenário para aplicação de recursos (onde investir)**

Por ser uma ferramenta de planejamento, os feedbacks de campo são necessários para a acurácia da mesma. Os critérios e pesos a todo o momento podem ser revistos e reaplicados.

A ferramenta não tem o objetivo de engessar um modelo de negócio, ela auxilia no direcionamento das ações, cabendo a cada área, unidade responsável pela operacionalização definir efetivamente o trecho que deverá ser substituído.

É um modelo de possível aplicação para as demais áreas da empresa (Diretoria de Sistemas Regionais – R), podendo-se inclusive ser utilizado para outros processos como falhas em redes de água, falhas em ramais, entre outros.

Por ser um modelo elaborado sobre softwares de mercado e de uso comum entre as companhias saneamento, não necessita de recursos financeiros para ser implementado, ele se abastece de produtos/dados já existentes na companhia, desta maneira, torna-se possível e viável a utilização por qualquer empresa de saneamento básico.

A boa estruturação das bases de informações alfanuméricas e espaciais, atreladas a melhoria nos equipamentos de informática – que atualmente processa mais informações em menor tempo, tornaram possível a elaboração do modelo com esta riqueza de detalhamento.

## CONCLUSÕES

A agilidade em aplicar o modelo em grandes áreas territoriais criando-se uma métrica única, agregado a flexibilidade na geração de cenários com os mais diversos níveis de detalhamento torna este modelo importante na gestão empresarial atual.

O grupo multidisciplinar escolhido também interfere na geração de critérios e pesos. Logo, grupos com visões diferentes contribuem para enriquecer este processo de discussão.

Este modelo foi calibrado tendo como foco a substituição de redes com alto índice de falhas no que tange a melhoria operacional nas redes coletoras de esgoto e também na renovação de ativos destas redes, porém

consegue ter aderência de utilização por diversos níveis hierárquicos (planejamento, engenharia, operação, entre outras). Definindo assim uma única regra de negócio.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. VARGAS, R. (2010). Utilizando a Programação Multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio. Artigo, site [www.ricardo-vargas.com/pt/articles/analytic-hierarchy-process/](http://www.ricardo-vargas.com/pt/articles/analytic-hierarchy-process/)
2. CISAR, E. R. (2017) Aplicação de Método AHP – (Analytic Hierarchy Process) – Integrado a Mapas de kernel para planejamento, seleção e priorização de substituição de redes de água com foco na redução de perdas. CONGRESSO ABES FENASAN 2017. São Paulo, SP, 2017.