

# Sistema de Planejamento Integrado com Foco em Indicadores de Qualidade de Serviço

M. A. Pelegrini, C. C. B. de Oliveira, ENERQ/USP  
M. M. Marquesan, G. Arend RIO GRANDE ENERGIA S/A

*Resumo* – Este artigo trata dos resultados do projeto SPIN - "Sistema de Planejamento Integrado com foco em Indicadores de Qualidade do Serviço", que consiste no desenvolvimento de um Sistema de Planejamento Integrado que analise os impactos que cada obra prevista no segmento da transmissão, distribuição ou manutenção de uma distribuidora produz nos indicadores de qualidade, tanto localmente (para o conjunto considerado) como para a empresa como um todo. A partir desses impactos, podem-se calcular relações benefício/custo de cada obra desses segmentos, que podem ser priorizadas obtendo-se um plano de investimentos com foco na melhoria de indicadores. São apresentadas a metodologia desenvolvida e os resultados da implementação.

*Palavras chave:* distribuição de energia elétrica, análise econômica de projetos, planejamento da distribuição, qualidade de serviço.

## I. INTRODUÇÃO

A gestão e melhoria dos indicadores de qualidade do serviço (DEC, FEC, DIC, FIC) é hoje um dos objetivos centrais das distribuidoras de energia elétrica, na medida em que refletem diretamente a qualidade da empresa e são constantemente monitorados pelo órgão regulador, que define sanções e penalidades pelo descumprimento de padrões estabelecidos.

Assim, na elaboração do plano de investimentos anual da empresa torna-se importante dispor de ferramentas que contemplem o impacto que as obras previstas terão nestes indicadores, garantindo o cumprimento dos padrões e objetivos de melhoria pré-definidos.

As ferramentas hoje existentes permitem analisar, a partir de simulações, o impacto que obras nas redes de transmissão e distribuição irão causar nestes indicadores. No entanto, essa análise é feita pontualmente, o que não permite a construção de cenários que subsidiem o gestor na tomada de decisões de investimento. Além disso, as ações de manutenção, que implicam em potencial significativo de melhoria, não são contempladas.

Desta forma, a RGE propôs o projeto "Sistema de Planejamento Integrado com Foco em Indicadores de Qualidade do Serviço" que consiste no desenvolvimento de um sistema de planejamento integrado que analisa os impactos que cada obra prevista nos segmentos de transmissão, distribuição e manutenção de uma distribuidora produz nos indicadores de qualidade, tanto localmente (para o conjunto considerado) como para a empresa como um todo.

A partir desses impactos são calculadas as relações benefício x custo de cada obra daqueles segmentos, e assim priorizar estas obras através de um plano de investimentos com foco na melhoria dos indicadores de qualidade do serviço.

A metodologia utilizada apóia-se na definição de índices de méritos adequados associados a um conjunto de obras potenciais, objeto de análises técnico-econômicas específicas, que são estabelecidos com base em relações de benefício econômico auferido pelas obras (devido a melhoria operativa proporcionada ao sistema) e o custo correspondente.

Para tanto, são utilizados modelos adequados de fluxo de potência e de confiabilidade de redes primárias que viabilizam a estimativa dos principais indicadores de desempenho, tanto na condição anterior quanto na posterior à proposição da obra em pauta.

A especificação dos modelos e métodos para desenvolvimento de software, que contempla os módulos de formação de base de dados, definição de obras, cálculo de relações custo/benefício com foco na melhoria dos indicadores, priorização de obras e elaboração de cenários.

## II. METODOLOGIA

### A. Introdução

A metodologia seguida envolveu simultaneamente a elaboração de modelos, o desenvolvimento de software e a sua aplicação na empresa, e está descrita a seguir:

### B. Reavaliação dos conjuntos da empresa

A RGE apresentava uma elevada quantidade de conjuntos com violações de metas estabelecidas pelo órgão regulador. Esta quantidade se devia basicamente a dois fatos: melhoria na apuração dos indicadores a partir de 2001 e as características físicas da rede da RGE

Para atenuar essa grande quantidade de violações, foram estudadas pela equipe do projeto alternativas de formação de conjuntos que poderiam resultar em um menor número de violações de metas estabelecidas pelo órgão regulador. A alternativa considerada mais viável considera o conjunto formado pelos municípios que são atendidos pelos mesmos

alimentadores de uma subestação. As metas de DEC dos novos conjuntos, nesse caso, foram calculadas levando-se em consideração as médias ponderadas por UC's (Unidades Consumidoras) dos conjuntos que formaram os novos conjuntos.

### C. Concepção do modelo de planejamento integrado

A concepção de modelo de planejamento que permite à RGE decidir pela realização de obras nos segmentos de Alta Tensão (subtransmissão), Média Tensão (distribuição) e Manutenção de Redes. Os principais parâmetros considerados na decisão são o orçamento disponível e os impactos que tais obras trarão nos índices técnicos e de qualidade da empresa. Além disso, o modelo permite a elaboração de cenários de investimento, de tal forma que para um determinado nível de investimento se obtenha o quanto houve de melhoria nos indicadores de confiabilidade.

Para concepção do modelo de otimização do orçamento e priorização de obras foram definidos, junto com a RGE, os indicadores a serem levados em conta no processo de otimização, as obras típicas nos diversos segmentos que formam parte do sistema (transmissão, distribuição e manutenção) e os parâmetros que fazem parte do modelo de priorização do sistema.

### D. Desenvolvimento de modelos de cálculo de custo x benefício de obras

Para o segmento da transmissão não foram consideradas obras típicas, pois cada uma é bastante específica e é possível a obtenção da redução nos indicadores de continuidade de forma direta.

Já no segmento da distribuição a quantidade de obras é bem maior, sendo inviável a quantificação uma a uma. Por essa razão foram definidas obras típicas nesse segmento, onde foi desenvolvida a metodologia. Para o segmento da manutenção vale o mesmo raciocínio do segmento da distribuição. As obras, ou ações de manutenção devem ser agrupadas em formas típicas, onde haverá a quantificação na redução nos índices de continuidade.

### E. Especificação do Software e Aplicação Piloto

Para a especificação do software foi realizada, inicialmente, a análise da base de dados da RGE, para verificação dos dados que podem ser utilizados para o desenvolvimento do módulo de otimização/priorização de obras e de cálculo dos coeficientes de influência de cada obra. Em seguida, a função objetivo de otimização desenvolvida foi detalhada e modelada matematicamente, de modo a ser testada e validada com dados reais.

Ainda, foi desenvolvido um novo módulo no Interplan, que calcula relações custo-benefício de obras topológicas, um

sistema baseado em Internet que automatiza a seqüência de ações de planejamento e calcula reduções em indicadores de qualidade provocada por cada obra e um módulo de otimização e priorização de obras, denominado SPIN-Otimiza, integrado ao sistema SPIN da RGE. Foi também realizada aplicação piloto dos sistemas desenvolvidos. Os resultados foram consolidados em Notas Técnicas e Programas Computacionais disponibilizados à RGE.

## III. MODELAGEM DO SISTEMA INTEGRADO

### III.1 Função objetivo de otimização

Para a especificação da função objetivo de otimização foram adotadas as seguintes premissas:

- a avaliação de uma obra deve considerar os benefícios econômicos e técnicos relativos à melhoria de índices de continuidade, de queda de tensão e de carregamento;
- cada obra é analisada individualmente, através de um Índice de Mérito (IM), que leva em conta esses parâmetros.

O objetivo final é maximizar o índice de mérito global da empresa, fazendo com que os Conjuntos e a RGE cheguem o mais perto possível das metas de índices de continuidade estabelecidos, levando em conta as restrições orçamentárias e as restrições de dependência e concorrência entre as obras. O Índice de Mérito (IM) de cada obra é estruturado de tal forma que reflita a melhoria trazida por aquela obra para o alimentador e para a RGE, em termos técnicos e econômicos. Assim, foi proposta a seguinte expressão para o cálculo:

$$IM_i = P_1 * IM_{econ} + P_2 * IM_{tec} \quad (1)$$

onde

$IM_i$  = índice de mérito da obra "i"

$IM_{econ}$  = índice de mérito econômico

$IM_{tec}$  = índice de mérito técnico

$P_1$  = peso para o  $IM_{econ}$

$P_2$  = peso para o  $IM_{tec}$

Sendo  $P_1 + P_2 = 1$

De acordo com esses parâmetros tem-se o modelo de otimização, cuja função objetivo de programação linear inteira mista é maximizar a seguinte equação:

$$\sum_{i=1}^N IM_i \cdot \delta_i - r_1 \cdot Desvio_{al} - r_2 \cdot Desvio_{RGE} \quad (2)$$

onde

$N$  = número de obras

$IM_i$  = índice de mérito da obra i

$\delta_i$  = variável de decisão a respeito da realização ou não da obra i

$r_1, r_2$  = constantes de equalização, para obter a mesma ordem de grandeza para as variáveis

Desvio<sub>al</sub> = coeficiente de desvio dos indicadores de continuidade dos alimentadores em relação à meta, calculado por:

$$Desvio_{al} = \sum_{j=1}^m (KCI_j + KCH_j) \quad (3)$$

onde

m = número de alimentadores

KCI<sub>j</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CI (consumidores interrompidos) para o alimentador j

KCHI<sub>j</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CHI (consumidores-hora interrompidos) para o alimentador j

Desvio<sub>RGE</sub> = coeficiente de desvio dos indicadores de confiabilidade da RGE em relação à meta, calculado por:

$$Desvio_{RGE} = KCI_{RGE} + KCH_{RGE} \quad (4)$$

onde

KCI<sub>RGE</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CI (consumidores interrompidos) para a RGE

KCHI<sub>RGE</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CHI (consumidores-hora interrompidos) para a RGE.

As restrições do modelo de otimização são:

#### 1. Restrição Orçamentária

$$\sum_{i=1}^N Cobra_i \cdot \delta_i \leq orçamento \quad (5)$$

onde:

Cobra<sub>i</sub> = Custo da Obra i

δ<sub>i</sub> = variável de decisão a respeito da realização ou não da obra i

Orçamento = Orçamento total disponível para o planejamento

#### 2. Restrição de metas para CI do alimentador

$$CI_{al,j} - \sum_{i=1}^n \Delta CI_{i,j} \cdot \delta_i \leq metaCI_{al,j} \cdot KCI_j \quad (6)$$

onde:

CI<sub>al,j</sub> = Consumidores interrompidos do alimentador j, apurado nos últimos 12 meses

ΔCI<sub>i,j</sub> = Redução no número de CI do alimentador j devido à obra i

δ<sub>i</sub> = variável de decisão a respeito da realização ou não da obra i

MetaCI<sub>al,j</sub> = Meta de CI para o alimentador j

KCI<sub>j</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CI (consumidores interrompidos) para o alimentador j

Ou: CI<sub>futuro</sub> ≤ MetaCI \* KCI

#### 3. Restrição de metas para CHI do alimentador

$$CHI_{al,j} - \sum_{i=1}^n \Delta CHI_{i,j} \cdot \delta_i \leq metaCHI_{al,j} \cdot KCHI_j \quad (7)$$

onde:

CHI<sub>al,j</sub> = Consumidores-hora interrompidos do alimentador j, apurado nos últimos 12 meses

ΔCHI<sub>i,j</sub> = Redução no número de CHI do alimentador j devido à obra i

δ<sub>i</sub> = variável de decisão a respeito da realização ou não da obra i

MetaCHI<sub>al,j</sub> = Meta de CHI para o alimentador j

KCHI<sub>j</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CI (consumidores interrompidos) para o alimentador j

Ou: CHI<sub>futuro</sub> ≤ MetaCHI \* KCHI

#### 4. Restrição de metas para CI da RGE

$$CHI_{RGE} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta CI_{i,j} \cdot \delta_i \leq metaCI_{RGE} \cdot KCI_{RGE} \quad (8)$$

onde:

CI<sub>RGE</sub> = Consumidores interrompidos da RGE, apurado nos últimos 12 meses

ΔCI<sub>i,j</sub> = Redução no número de CI do alimentador j devido à obra i

δ<sub>i</sub> = variável de decisão a respeito da realização ou não da obra i

MetaCI<sub>RGE</sub> = Meta de CI para a RGE

KCI<sub>RGE</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CI (consumidores interrompidos) para a RGE

Ou: CI<sub>futuro</sub> ≤ MetaCI \* KCI

#### 5. Restrição de metas para CHI da RGE

$$CHI_{RGE} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Delta CHI_{i,j} \cdot \delta_i \leq MetaCHI_{RGE} \cdot KCHI_{RGE} \quad (9)$$

onde:

CHI<sub>RGE</sub> = Consumidores interrompidos da RGE, apurado nos últimos 12 meses

ΔCHI<sub>i,j</sub> = Redução no número de CHI do alimentador j devido à obra i

δ<sub>i</sub> = variável de decisão a respeito da realização ou não da obra i

MetaCHI<sub>RGE</sub> = Meta de CI para a RGE

KCHI<sub>RGE</sub> = coeficiente de relaxamento da meta de CHI (consumidores interrompidos) para a RGE

Ou: CHI<sub>futuro</sub> ≤ MetaCHI \* KCHI

#### 6. Obras excludentes

Se as obras i<sub>1</sub> e i<sub>2</sub> são mutuamente excludentes (a realização de uma elimina a necessidade da outra):

$$\delta_{i1} + \delta_{i2} \leq 1 \quad (10)$$

### 7. Obras dependentes

Se a obra  $i_2$  depende da execução da obra  $i_1$ :

$$\delta_{i1} - \delta_{i2} \geq 0 \quad (11)$$

### 8. Obras obrigatórias

Se a realização da obra  $i_1$  obriga a realização da obra  $i_2$ :

$$\delta_{i1} = \delta_{i2} \quad (12)$$

### 9. Coeficiente de relaxamento

A meta modificada deve ser maior ou igual à meta inicial:

$$\begin{aligned} KCI_{al,j} &\geq 1 \\ KCHI_{al,j} &\geq 1 \\ KCI_{RGE} &\geq 1 \\ KCHI_{RGE} &\geq 1 \end{aligned} \quad (13)$$

### III.2 Modelos de cálculo de custo x benefício de obras

Para obras de transmissão, não foram especificadas obras típicas, pois cada uma é bastante específica e é possível a obtenção da redução nos indicadores de continuidade de forma direta.

Para os segmentos de distribuição e manutenção, que envolvem uma quantidade maior de obras, foram definidas obras típicas. As obras consideradas no segmento de distribuição foram:

- Mudança de padrão de rede primária para Rede Subterrânea
- Mudança de padrão de rede primária para Rede Compacta (Spacer)/Cabo Isolado
- Mudança de padrão de rede primária para Cabo Protegido
- Instalação de Pára-raios
- Recondutoramento com reforma da rede primária
- Instalação de Religador
- Instalação de Capacitor
- Instalação de Regulador de Tensão
- Interligação de AL's
- Construção de novo AL
- Nova SE
- Ampliação de SE
- Recapacitação de LT
- Adequação de SE

As obras consideradas no segmento de manutenção foram:

- 1ª Poda de Árvores
- Poda de Árvores (contínua)
- 1ª Inspeção e Reforma de Rede Primária

- Inspeção e Reforma de Rede Primária (contínua)
- 1ª Inspeção e Reforma de Rede Secundária
- Inspeção e Reforma de Rede Secundária (contínua)
- 1ª Inspeção e Reforma de Rede Mista
- Inspeção e Reforma de Rede Mista (contínua)
- Troca de Conexões
- Ultrassonografia
- Turma de Linha Viva
- Mudança de padrão de rede secundária (inicialmente rede aérea comum) para Cabo Multiplexado
- Troca de Ramais de Ligação
- Divisão de circuitos secundários

Para cada uma destas obras, foram desenvolvidos modelos de quantificação de relações custo/benefício. Para as obras que envolvem mudanças topológicas na rede optou-se por desenvolver modelos a serem utilizados no Interplan. Deste modo, pode-se quantificar, com razoável acuidade, os benefícios técnicos e econômicos advindos da realização de uma obra. Esses benefícios, depois de obtidos, são transportados para o sistema SPIN.

Para obras que não podem ser simuladas no Interplan, isto é, aquelas que não envolvem mudança topológica na rede, foi desenvolvido um modelo de cálculo de relações custo/benefício que envolvem a quantificação da estimativa de redução nos indicadores de continuidade da empresa provocados por aquela obra. Esse modelo de cálculo pode ser assim descrito:

- Através da consulta ao banco de dados de ocorrências da RGE, calcula-se o CI e CHI total de cada trecho atingido para os últimos 12 meses. Exemplo: obteve-se para determinada obra o valor de CI=5000 e CHI=2500.
- Com o mesmo procedimento, calcula-se o CI e CHI total de cada trecho, levando em conta somente as causas afetadas pelo tipo de obra (agrupamento de causas). Deve-se observar que para cada tipo de obra há um agrupamento diferente e que existem causas que não totalmente afetadas (exemplificando: o tipo de obra X afeta 100 % da causa 200 da rede primária, 0% da causa 200 na rede secundária e 70% da causa 201 da rede primária). Exemplo: na obra anterior CIagrup=1000 e CHIagrup=500.
- Calcula-se então o valor absoluto de redução esperada de CI e CHI para a obra, através da seguinte expressão:  

$$DCI = \text{CoefReduçãoCI} * CI_{\text{agrup}}$$

$$DCHI = \text{CoefReduçãoCHI} * CHI_{\text{agrup}}$$
- Este valor pode ser calculado para cada trecho (se for disponível o CIagrup e o CHIagrup do trecho) ou para a obra inteira, incluídos todos os trechos.

### IV. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO

A implementação computacional do modelo desenvolvido foi realizada através de 3 protótipos computacionais que automatizam a metodologia concebida:

1. Módulos protótipos incorporados ao Programa Interplan - Planejamento Integrado de Redes.

2. Sistema baseado em Internet que automatiza a seqüência de ações de planejamento e calcula reduções em indicadores de qualidade provocada por cada obra, denominado SPIN, e;

3. Módulo de otimização e priorização de obras, denominado SPIN-Otimiza, integrado ao sistema SPIN da RGE.

A seguir são descritos estes três protótipos.

#### V. MÓDULOS PROTÓTIPOS INCORPORADOS AO PROGRAMA INTERPLAN – PLANEJAMENTO INTEGRADO DE REDES.

Basicamente, são dois módulos que viabilizam os estudos de quantificação de relações benefício/custo de obras propostas:

##### - Módulo de Planejamento Manual

Com a demanda dos pontos de carga dos alimentadores estimada em cada ano do período de planejamento e o fluxo de potência efetuado, viabiliza-se a utilização do módulo de planejamento manual implementado no Programa Interplan.

O fluxo de potência efetuado à topologia de rede atual, porém com a demanda estimada de cada ano constitui-se na referência para as avaliações dos benefícios técnicos auferidos pelas obras propostas. O mesmo raciocínio pode ser estendido à avaliação dos benefícios técnicos associados aos indicadores de continuidade, estimando-se os parâmetros em cada ano de planejamento com a rede na configuração atual, e os respectivos benefícios técnicos auferidos pelas obras propostas em decorrência da melhoria operativa do sistema.

O planejamento manual pode ser efetuado criando-se as redes em cada ano do período de planejamento. As seguintes obras, dentre outras, são contempladas: instalação de regulador de tensão, instalação de banco de capacitores, construção de alimentador novo, construção de novos trechos de rede, construção de subestação nova, instalação de capacitores série, instalação de religadores.

##### - Módulo SPIN

Este módulo constitui-se na implementação computacional vinculada às concepções metodológicas propostas no projeto, viabilizando-se a estimativa da melhoria operativa do sistema em decorrência da proposição de obras no sistema (benefício técnico das obras), a sua correspondente valoração (benefício econômico) e a influência nos indicadores de continuidade (benefício de qualidade).

O programa efetua uma avaliação das condições operativas do sistema (em termos do carregamento, perdas técnicas, perfil de tensão e da energia não distribuída) em todos os anos do período de planejamento, porém com topologia de rede referente à do ano inicial. Portanto, é possível avaliar, por

exemplo, qual seria o carregamento de determinado alimentador no ano horizonte de planejamento, porém sem que a configuração original do circuito tivesse sido alterada.

Com este mecanismo, é possível identificar quais as partes do sistema carentes de reforços, ou nas quais caibam ações de melhoria.

A proposição de obras viabiliza uma melhoria das respectivas condições operativas iniciais conferindo um benefício técnico que é posteriormente valorado economicamente, determinando-se o respectivo benefício econômico.

Neste contexto, os seguintes dados gerais são utilizados na avaliação dos índices de méritos das obras:

- Taxa de atualização do capital: Valor financeiro, utilizado para anualizações e cálculo do valor presente dos investimentos;

- Vida útil dos equipamentos: No contexto do Programa, dado utilizado para anualizar os custos dos equipamentos referentes a cada item citado;

- Crescimento da carga para extrapolação: Taxa anual de crescimento da carga estimada nas avaliações dos benefícios econômicos das obras após o período de planejamento;

- Duração para extrapolação de crescimento: Quantidade de anos após o horizonte de planejamento avaliado para contabilização do benefício econômico das obras;

- Custo de demanda: Custo unitário médio avaliado pela Empresa das respectivas perdas de potência (ponta) em R\$/kW·ano;

- Custo de energia: Custo unitário médio, avaliado pela Empresa, das respectivas perdas de energia, em R\$/MWh;

- Custo da END: Custo médio, avaliado pela Empresa, da energia não suprida, dado em R\$/kWh, decorrente de interrupções de fornecimento (recomenda-se atribuir neste campo o custo social da interrupção visto pelo lado do consumidor ao invés dos custos relacionados à perda de faturamento decorrente das interrupções);

- Custo da demanda reprimida: Parâmetro avaliado pela Empresa para valoração da capacidade adicional de atendimento à demanda, dado em R\$/kVA (unidade financeira / demanda aparente).

Como resultados principais, este módulo determina os seguintes parâmetros:

- Benefícios Econômicos: Valorações econômicas dos benefícios técnicos vinculados às obras, em termos da melhoria auferida pela redução das perdas de energia e demanda, redução da END, melhoria do perfil de tensão,

redução da demanda reprimida. Os valores são dados em R\$ a cada ano de planejamento;

- Benefícios Totais: Somatório de todas as parcelas de benefícios econômicos (perdas, queda de tensão, energia não distribuída e demanda reprimida), em R\$ na data corrente, e acumuladas até o ano de planejamento em análise;
- Custos anuais: Somatório dos custos anuais, em R\$ na data corrente, e acumulados até o ano de planejamento em análise;
- Relação (benefício - custo): Diferença entre os benefícios e custos acumulados até o ano de planejamento em análise, dados em R\$ e em valor presente;
- Relação (benefício/custo): Parâmetro obtidos a partir dos valores de benefício e custo acumulados até o ano de planejamento em análise.
- Benefício econômico total acumulado durante o período de planejamento, calculado em R\$ e em valor presente;
- Investimento total acumulado durante o período de planejamento, calculado em R\$ e em valor presente;
- Relação benefício/custo avaliada durante o período de planejamento;
- Relação (benefício - custo), referente à diferença destes parâmetros avaliados durante o período de planejamento, e calculada em valor presente.
- Período de retorno dos investimentos associados às obras.
- Carregamento máximo da rede antes e depois da obra.
- Queda de Tensão máxima antes e depois da obra.
- CI e CHI antes e depois da obra.
- Trechos da rede afetados pela obra.

## VI. ASPECTOS GERAIS DO SISTEMA SPIN – INTERNET

O sistema SPIN desenvolvido para a RGE em plataforma Web pode ser dividido em 6 Macroprocessos:

1. Hierarquização dos Alimentadores
2. Estudo Técnico dos Alimentadores
3. Cadastro do Tipo de Obra (Solução)
4. Cadastro da Obra
5. Definição do Planejamento
6. Otimização, Geração de Cenários (SPIN-Otimiza) e Relatórios

Estes macroprocessos são detalhados a seguir:

### 1. Macroprocesso 1 – Hierarquização dos alimentadores

Face à grande quantidade de alimentadores existentes na RGE, propôs-se uma hierarquização dos alimentadores para estudo.

A cada alimentador é atribuída uma pontuação baseada no estado atual da rede. Os parâmetros utilizados são: Queda de Tensão, Carregamento, FECrelativo, CI% e CHI%.

Para cada valor destes parâmetros são atribuídos graus de 0 a 5, de acordo com faixas pré-definidas pelo planejador. Após cadastrados os critérios, o planejador atribui pesos para a hierarquização. Assim, cada alimentador terá uma pontuação, podendo-se hierarquizar os alimentadores para estudo:

### 2. Macroprocesso 2 – Estudo Técnico dos alimentadores

O Macroprocesso 2 representa a fase de estudo dos alimentadores, que é feita externamente ao SPIN, utilizando ferramentas de estudo da empresa. Após esta fase são propostas soluções para os problemas detectados, definidas genericamente como obras, que irão ser incorporadas ao SPIN no Macroprocesso 3 – Cadastro de Obras.

O estudo é feito nos módulos de planejamento manual e no módulo SPIN do Interplan que permite, ao fazer o estudo da rede e propor obras, a exportação de parâmetros que irão ser utilizados pelo SPIN. Os parâmetros exportáveis são (além dos trechos e alimentadores atingidos pela obra):

- a) Queda de Tensão máxima antes da obra (em %)
- b) Queda de Tensão máxima após a obra (em %)
- c) Carregamento antes da obra (em %)
- d) Carregamento após a obra (em %)
- e) DCHI (Diferença de CHI antes e após a obra - em valor absoluto de consumidores-hora interrompidos. Se positivo há ganho de confiabilidade)
- f) DCI (Diferença de CI antes e após a obra - em valor absoluto de consumidores interrompidos. Se positivo há ganho de confiabilidade)
- g) Investimento (valor total investido na obra, trazido a valor presente com uma taxa de desconto fixada pelo planejador)
- h) Benefício (valor total dos benefícios econômicos decorrentes da realização da obra, trazido a valor presente com uma taxa de desconto fixada pelo planejador)
- i) VPL (Valor Presente Líquido da Obra, dado pelo Benefício menos o Investimento. Se positivo a obra é rentável)

Para as obras de manutenção, o estudo a ser realizado é interno à área, e deve contemplar intervenções por alimentador.

### 3. Macroprocesso 3 – Cadastro do tipo de Obra

Antes de cada obra oriunda do Macroprocesso 2 – Estudo dos Alimentadores ser cadastrada, deve ser cadastrado o tipo de obra ou solução. A definição do tipo de obra é fundamental para o cálculo da redução de CI/CHI de cada obra, bem como para o cálculo do índice de mérito.

Para cada tipo de obra (solução) são necessárias as seguintes informações:

- Nome
- Abrangência (planejamento ou manutenção)
- Tabela de causas afetadas na rede primária (se aplicável)
- Tabela de causas afetadas na rede secundária (se aplicável)
- Coeficiente de redução de CI esperado (se aplicável)
- Coeficiente de redução de CHI esperado (se aplicável)

Os tipos de obra são divididos em duas categorias: Planejamento e Manutenção. Com esses dados, ao se cadastrar uma obra correspondente a um desses tipos de obra e que atua em um ou mais trechos de alimentadores, o sistema faz o

cálculo automático da redução de CI e CHI, como especificado na Etapa 4.

O módulo de cadastro de tipo de obra permite que os parâmetros relacionados a cada tipo de obra devem ter a permissão de serem alterados pelo usuário. Outra funcionalidade é a possibilidade de inserção de um novo tipo de obra, com o preenchimento dos parâmetros necessários.

#### 4. Macroprocesso 4 – Cadastro da Obra

Neste Macroprocesso, cada obra é cadastrada de modo a que se forneçam as informações necessárias à realização do processo de otimização. O cadastro da obra é diferenciado para as obras de Planejamento ou Manutenção.

A Redução esperada de CI e a Redução esperada de CHI é calculada de acordo com a metodologia descrita anteriormente, para cada tipo de obra.

Além disso, tanto para obras de Planejamento como de Manutenção, há a possibilidade de relacionar a obra com outras já inseridas, em relação de concorrência, dependência ou obrigatoriedade.

As obras, com seus tipos, parâmetros e relacionamentos, são todas agregadas em uma tabela, que é a lista de obras candidatas geral.

#### 5. Macroprocesso 5 – Definição do Planejamento

Neste macroprocesso, o usuário define Planejamentos, agregando obras da lista geral. Um Planejamento é um subconjunto das obras gerais, onde será realizada a otimização. Este subconjunto pode ser formado só por obras do Planejamento, só por obras da manutenção, só obras de um determinado alimentador, só obras de uma determinada regional ou subestação, etc. ou ainda todas as obras em único conjunto.

O usuário deve ter em mente que o processo de otimização só irá atuar sobre as obras escolhidas por ele no Planejamento.

O SPIN possui filtros que permitem ao usuário facilmente escolher as obras para compor o Planejamento, inclusive vindas de outro Planejamento.

#### 6. Macroprocesso 6 – Otimização, Geração de Cenários (SPIN-Otimiza) e Relatórios

Após definido o Planejamento (ou lista de obras candidatas), é o Macroprocesso de Otimização, através de um aplicativo em base local, denominado SPIN-Otimiza, descrito a seguir.

O resultado do macroprocesso é a otimização e priorização das obras, em cada Planejamento, resultando num Plano de Obras a ser utilizado pela empresa que representa a melhor expectativa de obtenção das metas de continuidade.

### VII. ASPECTOS GERAIS DO SISTEMA SPIN – OTIMIZA

O sistema SPIN – Otimiza consiste de um módulo computacional onde é realizado o processo de otimização, conforme o Macroprocesso 6. Para tanto, o aplicativo se comunica com a base de dados do SPIN, de modo a obter as informações necessárias para o processo de otimização. O modo de operação do módulo é:

- Definição do Orçamento a ser aplicado para aquele Planejamento
- Definição de metas de continuidade para alimentadores e para a RGE
- Cálculo dos índices de mérito técnicos e econômicos das obras candidatas
- Pré-processamento, com a retirada, do orçamento, das obras obrigatórias (por serem da transmissão ou porque resolvem problemas de Limite Técnico).
- Otimização das obras candidatas restantes.
- Geração de Cenário contendo:
  - Orçamento Realizado
  - Lista de Obras priorizadas
  - Expectativa de Redução de CI e CHI
- Salvamento e exportação do Cenário para a base de dados da RGE, para emissão de relatórios pré-definidos.

A figura 1 mostra a tela principal do módulo, com a entrada de dados e o cálculo do índice de mérito.

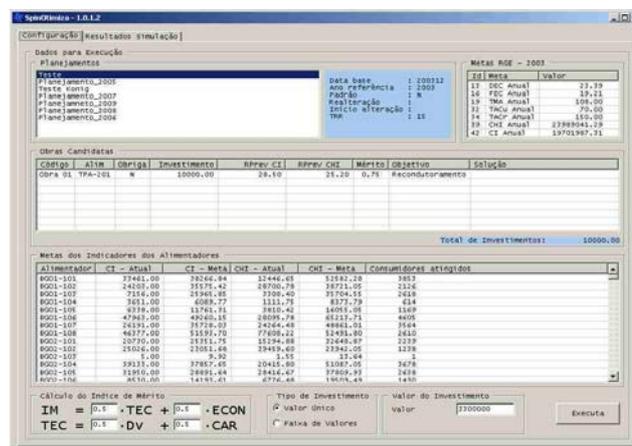


Figura 1 – Dados de Entrada – Módulo SPIN Otimiza

Os resultados são mostrados na forma de relatório texto (Figura 2).

Projeto	Indicador	Meta	Valor	Previsão
9001-101	CI	35266,04	37461,00	37461,00
9001-102	CHI	5750,18	12446,05	12446,05
9001-103	CI	35771,42	16201,00	16201,00
9001-104	CHI	25965,05	7316,00	7316,00
9001-105	CI	37794,56	3706,40	3706,40
9001-106	CHI	6089,77	3451,00	3451,00
9001-107	CI	8779,79	1111,76	1111,76
9001-108	CHI	15761,31	4318,00	4318,00
9001-109	CI	16095,00	2821,42	2821,42
9001-110	CHI	49260,11	47911,00	47911,00
9001-111	CHI	45131,73	20091,78	20091,78
9001-112	CI	37778,00	24239,00	24239,00
9001-113	CHI	45863,01	24264,48	24264,48
9001-114	CI	12179,00	4637,00	4637,00
9001-115	CHI	12481,80	77658,22	77658,22
9001-116	CI	23511,70	10770,00	10770,00
9001-117	CHI	32648,07	10194,88	10194,88
9001-118	CI	23511,70	23026,00	23026,00
9001-119	CHI	23962,00	39459,60	39459,60
9001-120	CI	31,44	1,00	1,00
9001-121	CHI	31,44	1,00	1,00
9001-122	CI	37857,80	29321,00	29321,00
9001-123	CHI	15887,00	1941,48	1941,48
9001-124	CI	24891,64	31850,00	31850,00
9001-125	CHI	37600,90	39460,67	39460,67
9001-126	CI	14183,61	8570,00	8570,00
9001-127	CHI	12609,49	8776,48	8776,48
9001-128	CI	45226,99	34213,00	34213,00
9001-129	CHI	61289,74	17462,17	17462,17
9001-130	CI	14016,12	12466,00	12466,00
9001-131	CHI	14506,17	17961,23	17961,23
9001-132	CI	31700,55	1787,00	1787,00
9001-133	CHI	3466,67	1550,10	1550,10
9001-134	CI	47464,59	35000,00	35000,00
9001-135	CHI	46064,16	34051,22	34051,22
9001-136	CI	46064,16	15616,00	15616,00
9001-137	CHI	46662,17	17764,20	17764,20
9001-138	CI	24879,97	21809,00	21809,00
9001-139	CHI	24219,74	18519,07	18519,07
9001-140	CI	111147,19	100764,00	100764,00
9001-141	CHI	111147,19	99011,00	99011,00
9001-142	CI	90721,78	50639,00	50639,00
9001-143	CHI	88650,80	68967,67	68967,67
9001-144	CI	154430,04	88111,00	88111,00

Figura 2 – Relatório de saída – Módulo SPIN-Otimiza

Um subprocesso também realizado pelo Módulo é a Análise de Sensibilidade, onde o orçamento é variado num range definido pelo usuário, obtendo curvas de expectativa de redução de CI e CHI de acordo com o orçamento disponível (Figura 3). Vale lembrar que a geração de cenários e a análise de sensibilidade são feitas para um Planejamento Escolhido.

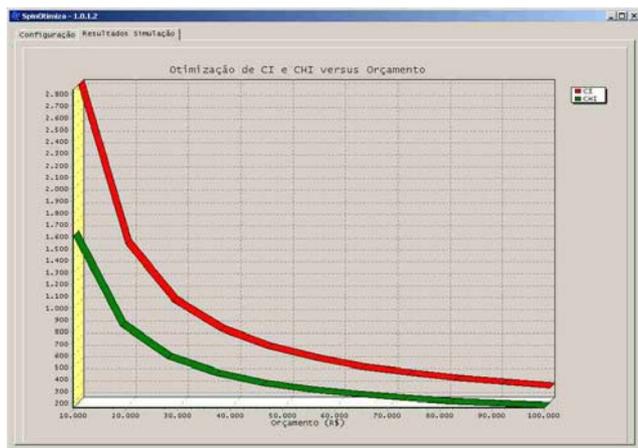


Figura 3 – Resultado da Análise de Sensibilidade – Módulo SPIN-Otimiza

## VIII. CONCLUSÕES

Apresentou-se neste artigo uma metodologia de planejamento de ações a serem realizadas no sistema de distribuição que levam em consideração aspectos técnicos, de qualidade do fornecimento e econômicos.

O desenvolvimento do SPIN - Sistema de Planejamento Integrado trouxe para a RGE acesso a ferramentas modernas de quantificação de relações de custo/benefício de obras e de redução de indicadores de continuidade, além de estabelecer uma metodologia otimizada para escolha e elaboração do Plano de Obras Anual da empresa.

Deste modo, pode-se dizer que o Processo Interno de Planejamento da RGE terá um grande incremento, proporcionando a tomada de decisões.

## IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gouvea, M. R. - “Bases Conceituais para o Planejamento de Investimentos em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica”. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.
- [2] N. Kagan, C. C. B. Oliveira e E. J. Robba, “SISPLAN – Sistema Computacional para Estudos de Planejamento de Redes Primárias de Distribuição de Energia Elétrica”, ENERQ - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
- [3] N. Kagan, E. J. Robba, J. C. Guaraldo, F. S. El Hage, “Análise e Descrição de Modelos Utilizados para Cálculo do Fluxo de Potência e Curto Circuito em Sistemas de Alta Tensão”, Documento Técnico ENERQ - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.
- [4] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa 505/2001.
- [5] Pelegrini, M.; Arango, H. G.; El Hage, F. S.; Kagan, N. – “Métodos de Valorização Econômica de Obras de Distribuição”. Documento Técnico ENERQ, São Paulo, 2004.
- [6] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Resolução Normativa 024/2000.
- [7] Antunes, A. U.; Pelegrini, M.; Arango, H. G.; El Hage, F. S.; Kagan, N. – “Especificação de Modelo para Desenvolvimento de Software de Avaliação Econômica de Projetos da Distribuição”. Documento Técnico ENERQ, São Paulo, 2004.