

# Ambiente Informatizado para Gestão de Sistemas Subterrâneos de Distribuição de Energia Elétrica

N. Kagan, C.C.B. de Oliveira, J.C. Guaraldo, F.S. El Hage, C.A.S. Penin, M.B.M. de Campos, W. Sybina: Enerq/EPUSP, M.A. Afonso, E. da Silva: AES-Eletropaulo

**Resumo** - Neste artigo, serão apresentados o cenário inicial encontrado na empresa, as ações desenvolvidas durante o projeto e os resultados obtidos. Serão detalhados os sistemas técnicos desenvolvidos no âmbito do projeto, com enfoque especial para o sistema de cálculos elétricos especializados para as redes de média e baixa tensão aérea e subterrânea.

Serão descritas as diversas etapas envolvidas, como: interfaces entre os sistemas, desenvolvimento de metodologias, desenvolvimento dos softwares e a implementação dos mesmos em diversos setores da empresa.

**Palavras-chave**—Redes de distribuição subterrânea, Redes de distribuição aérea, Fluxo de potência, Cálculo de curto-circuito, Planejamento de redes.

## I. INTRODUÇÃO

Na atualidade, verifica-se que as empresas de distribuição de energia elétrica tendem a substituir antigas ferramentas computacionais, muitas vezes soluções internas e pulverizadas, por grandes sistemas corporativos nas três divisões do negócio: gestão da rede (GIS), gestão comercial (CRM e Billing) e gestão empresarial (ERP).

Esta tendência deve-se às necessidades de padronização e/ou certificação e ajuda as empresas a transparecerem seus processos, evitando duplicidades e facilitando o acesso à informação.

Em virtude do ramo de atuação da AES-Eletropaulo, existe a necessidade de sistemas especializados que atendam as áreas técnicas da empresa no que se refere a mercado, planejamento, engenharia, suprimentos, atendimento técnico, operação e manutenção. Com esta realidade, aumentam-se as exigências dos programas técnicos - que agora devem ser plenamente integrados ao ambiente corporativo.

Neste trabalho será exposta a experiência verificada durante o desenvolvimento, customização e implantação dos sistemas de cálculo elétrico e planejamento de redes na AES-Eletropaulo dentro deste cenário apresentado. Também serão discutidas as diversas tecnologias envolvidas e sua utilização, a partir da implementação e disponibilização do sistema em diversos setores da empresa.

## II. OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho mantiveram-se em conformidade com os objetivos iniciais deste projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D): desenvolver ambiente computacional para a análise e simulação do comportamento de desempenho de redes de distribuição subterrânea, considerando várias topologias de rede, tais como: rede reticulada (*network*), redes radiais e primários seletivos.

O referido ambiente foi composto por um conjunto de softwares voltados para aplicações em planejamento, no apoio à engenharia, no ajuste da proteção e no planejamento da operação.

Todos os aplicativos operam sobre uma base de dados alfanumérica e geográfica que permite o cadastramento de redes, estações transformadoras, “*spot-networks*”, pontos de conexão com consumidores, características dos consumidores, equipamentos de manobra e proteção e demais componentes da rede. Os elementos dessa base de dados são extraídos dos atuais sistemas de gerenciamento de rede, através de extratores convenientes, desenvolvidos no âmbito do projeto.

Desta forma, o projeto alcançou os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento de ambiente computacional georeferenciado com modelagem de dados para representação das características físicas e elétricas adequada para o tratamento de diversas topologias de redes subterrâneas, destacando-se o sistema reticulado e o sistema primário seletivo.
- Desenvolvimento de modelos e softwares para análise do desempenho de redes subterrâneas, destacando-se: fluxo de potência, curto-circuito, confiabilidade, proteção, projeto de redes, manobras e perdas.
- Desenvolvimento de modelos de planejamento da operação e da expansão de redes de distribuição subterrânea, integrado com o sistema de planejamento de redes aéreas, possibilitando a análise de alternativas de expansão híbridas.

## III. A EMPRESA

Para que seja possível compreender os trabalhos desenvolvidos neste projeto de P&D, será apresentado nos itens que seguem o cenário organizacional e técnico em que os mesmos foram realizados.

### III-A Estrutura organizacional

Dentro de uma concessionária de distribuição de energia elétrica, considerando seus macro-processos, pode-se distinguir três grandes áreas de gestão: empresarial, comercial e técnica. Estas áreas estão intimamente entrelaçadas e cada uma delas possui objetos e objetivos complementares, numa relação harmônica: a gestão empresarial trata de aspectos administrativos da empresa, a gestão comercial lida com os clientes consumidores e a gestão de rede, que constitui a área técnica da empresa, preocupa-se com a infra-estrutura física da distribuição de energia.

A divisão técnica congrega: planejamento, engenharia, operação, manutenção, gestão de ativos e atendimento técnico ao consumidor - setores que interagem sobre a rede elétrica.

A área de gestão empresarial interage com a área técnica no tratamento dos ativos da rede, através das ordens de ativação e desativação, aquisição e estoques de materiais e equipamentos além do tratamento administrativo-financeiro da operação e manutenção da rede.

Já a área comercial congrega as relações com os clientes, marketing, vendas, levantamento do consumo, processamento de contas e recebimento de faturas, além dos serviços aos clientes. A área comercial alimenta a técnica através de informações dos clientes (mercado): séries históricas de consumo, demanda por região, diretrizes estratégicas de expansão, fatores característicos de carga, perfil dos consumidores, etc. O atendimento técnico exige a adequada localização espacial e elétrica do consumidor, ou seja, seu endereço postal e seu ponto de conexão na rede elétrica.

Na intersecção das áreas de gestão empresarial e comercial, situam-se os sistemas de faturamento. Já na intersecção das três grandes áreas, situam-se os sistemas de gestão de ativos e o sistema de geoprocessamento – daí a importância estratégica destes últimos.

### III-B Sistemas instalados

Antes das atuais mudanças de sistemas da AES-Eletropaulo – que serão explicadas a seguir – as necessidades dos macro-processos da empresa eram supridas por uma gama de sistemas individuais. Nesta configuração, o principal sistema técnico era o GRADE (Gerência de Redes e Equipamentos de Distribuição), ainda em operação. Este sistema, baseado em mainframe, era o responsável pelo gerenciamento da base de dados de redes e equipamentos de distribuição da empresa. Tratava-se de um cadastro com todos os elementos de rede (do consumidor até a ETD), georeferenciados, mas sem inteligência espacial. Incorporava grande quantidade de aplicativos para atualização, consulta, manobras, emissão de relatórios, cálculos elétricos, perdas técnicas etc.

Esta configuração não atendia as necessidades e requisitos das atuais plataformas de hardware e software nem a crescente demanda por flexibilidade e integração entre sistemas. Acrescenta-se ainda que no paradigma anterior não existiam integrações com os sistemas das áreas comercial e de gestão empresarial.

Alinhada com as constantes modernizações tecnológicas, a empresa decidiu revisar e atualizar sua configuração de sistemas e processos. Seguindo tendências de mercado, dentre estas modernizações, optou-se por grandes sistemas corporativos, sendo a configuração de sistemas planejada composta por: sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) para atender a gestão empresarial, CRM (Customer Relationship Management) e Billing para a gestão comercial e os sistemas técnicos congregados em torno do GIS.

Observa-se que os sistemas técnicos, que possuem como objeto a rede elétrica, congregam-se em torno do sistema de geoprocessamento, este último sendo o responsável pelo retrato do estado atual da rede.

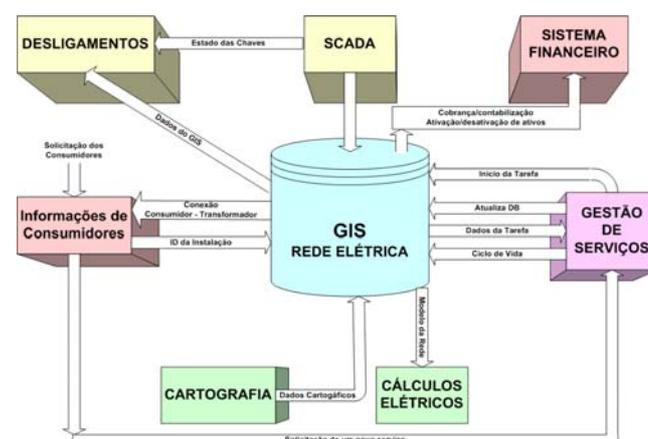


Figura 1: Interação entre os Principais Sistemas relacionados ao GIS.

Na Figura 1 ilustra-se o fluxo de informações entre o GIS e as diversas aplicações relacionadas às três áreas.

O sistema de geoprocessamento escolhido pela empresa foi o ArcGIS da empresa norte americana ESRI. Este sistema tem se difundido como padrão de mercado para geoprocessamento em várias áreas como telecomunicações e ambiental. Porém, a implantação na AES-Eletropaulo foi a primeira experiência de utilização deste pacote específico em empresas de distribuição elétrica no Brasil.

O modelo de dados elétricos adotado foi construído com base no pacote ArcFM Energy da Miner&Miner.

A primeira etapa contemplou o modelo elétrico aéreo e constituiu na implantação da ferramenta básica de geoprocessamento e do gerenciador de redes e equipamentos, além da confecção de esquemáticos e plantas, substituindo o GRADE nestas funcionalidades.

Numa segunda etapa, o modelo foi expandido com a inclusão dos modelos elétrico e civil da rede subterrânea. A terceira etapa, em andamento, trata da implantação da Ferramenta Gráfica de Projeto, baseada no produto Designer da Miner&Miner.

A estrutura de dados do sistema GIS da AES-Eletropaulo, denominado SIGEL, segue o modelo de dados ArcFM Energy desenvolvido com base na tecnologia ESRI. Trata-se de um sistema de geoprocessamento composto por tradicionais "tabelas" dos bancos de dados relacionais (definindo-se tabela como um grupamento de registros que guardam informações alfanuméricas) e por tabelas geo-espaciais, que suportam entidades gráficas e seus atributos posicionais.

Estas entidades gráficas são denominadas feições (features), na tecnologia ESRI, e um agrupamento destas entidades gráficas correlatas definem uma classe de feições (feature class) ou tabela geo-espacial. Todos os dados topológicos e geométricos de uma dada feição encontram-se encapsulados em um campo binário. Os dados dos ativos da rede elétrica de distribuição, seus relacionamentos e as regras de negócios da empresa encontram-se em um repositório ORACLE. A camada ESRI SDE (Spatial Data Engine) dá a inteligência geo-espacial a este banco de dados.

### III-C Necessidades técnicas

Dentro deste ambiente provido de soluções corporativas que interagem de forma a tornar claro os processos e informações da empresa, a divisão técnica necessitava do desenvolvimento de ferramentas de cálculos elétricos e planejamento de redes que pudessem tratar os dados cadastrais de seu sistema de distribuição; possuidor de características particulares, com uma grande variedade de padrões de redes, incluindo redes aéreas e subterrâneas.

No entanto, a maioria dos sistemas de análise de redes de distribuição utiliza modelos de cálculo desenvolvidos para redes aéreas que operam de forma radial. Em função das particularidades dos sistemas subterrâneos, não se dispunha de aplicativos adequados para a análise de seu desempenho. Conseqüentemente, fez-se necessário o desenvolvimento de um sistema computacional que fornecesse as bases necessárias para todos os estudos de redes subterrâneas, incluindo as funções de planejamento, operação, projeto, etc. Para contemplar todas estas funções, tal sistema deve se caracterizar por ser geo-referenciado, utilizar Base de Dados relacional e distribuída, fazendo uso de todas as informações já disponíveis em outros sistemas corporativos da Empresa.

## IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste item serão apresentadas as ferramentas desenvolvidas neste projeto de P&D, bem como etapas importantes que foram concluídas ao longo do mesmo.

### IV-A Integração de aplicativos elétricos com o SIGEL

Para a integração dos dados do sistema geo-referenciado, foi realizado o desenvolvimento e implantação de dois softwares de integração (API) que integram a base geo-referenciada SIGEL e os aplicativos elétricos para análise de redes de distribuição, quais sejam:

- Software denominado Iinterplan (anteriormente denominado SISPLAN) que exporta, à partir da interface do SIGEL, informações de um ou mais circuitos, de uma ou mais subestações, para o software de planejamento de redes de distribuição denominado INTERPLAN.
- Software denominado iCALC que extrai, à partir da interface do SIGEL, informações da rede primária e secundária para os aplicativos elétricos de Fluxo de Potência, Curto-circuito e Perdas, retornando os resultados para o próprio SIGEL, e desta forma, disponibilizando para o usuário final.

O iINTERPLAN constitui-se numa interface entre o SIGEL e o Interplan (Software para Análise e Planejamento de Redes de Distribuição) e é aplicado na obtenção de dados para simulação e planejamento de circuitos elétricos.

A integração entre os sistemas é feita a partir de uma interface gráfica, onde são selecionados os dados da simulação. A partir de então, o módulo de extração do Interplan realizará a carga dos dados para as simulações de acordo com as necessidades do planejador.

### IV-B Ferramentas desenvolvidas

Para atender as necessidades da empresa diferentes *softwares* foram desenvolvidos e implementados, sendo eles: interPlan, interPlanSUB, e programas de cálculo elétrico incorporados ao SIGEL.

A seguir os programas acima mencionados serão detalhados.

#### IV-B.1) interPlan

Os *software* interPlan é um sistema desenvolvido para realizar cálculo elétrico e estudos de planejamento em média e baixa tensão para redes aéreas radiais. Ele dispõe de um sistema de apresentação geo-referenciado da rede através de um amigável modelo gráfico.

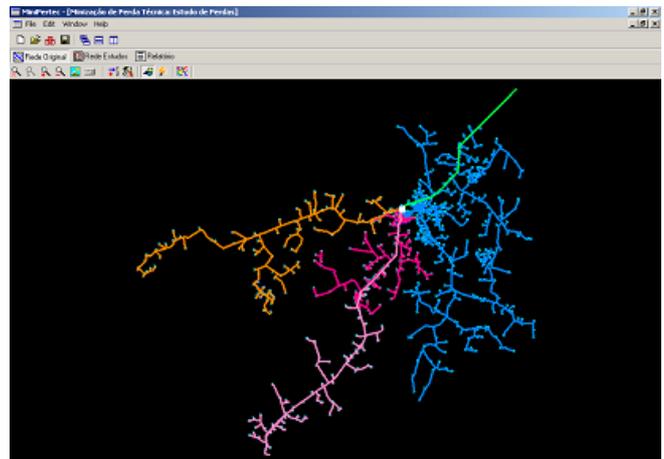


Figura 2 – Topologia de uma rede aberta com o interPlan

Na figura 2 acima pode-se observar os alimentadores de uma subestação aberta para estudo através do interPlan, bem como a interface do *software* com o usuário.

A partir dos dados extraídos da base corporativa, o interPlan é capaz de alimentar todos os seus outros módulos com as informações necessárias para os seguintes cálculos e métodos específicos:

- Cálculo da demanda nos centros de carga da rede, com base em curvas de hábitos de consumo e métodos numéricos específicos.
- Cálculo do fluxo de potência e tensões em todas as barras do sistema, com representação gráfica, configurável pelo usuário, em cores dos níveis de fluxos e tensões.
- Diagnóstico do sistema, proposição e análise de reforços, como alocação de capacitores, reguladores de tensão, recondutores, inclusão de novas subes-

tações, etc.

- Visualização da rede topológica e cartografia, recursos gráficos como para medição de distâncias entre barras, além da edição de todos os parâmetros e componentes da rede de distribuição através de interface gráfica.
- Estudos de planejamento com análises de crescimento de mercado por alimentadores primários e por análise espacial de quadrículas geo-referenciadas.

No cálculo de fluxo de potência são determinados os níveis de carregamento e de perdas em todos os elementos da rede (alimentadores, trechos de rede, chaves), bem como os níveis de tensão nas barras da rede para todos os patamares da curva de carga diária. O programa é um fluxo de potência específico para o cálculo de redes radiais e considera os três modelos de carga: corrente constante, potência constante e impedância constante.

O módulo de curto-circuito determina os níveis de curto-circuito, correntes e tensões, em todas as barras da rede, para defeitos trifásicos, trifásicos assimétricos, fase-terra, dupla fase e dupla fase-terra.

O interPlan possui duas formas de avaliação da demanda futura das cargas do sistema: por mercado global e por mercado espacial.

Para o caso do crescimento da demanda por mercado global são fornecidas as taxas de crescimento anuais, por alimentador da rede. Em particular, para a rede de média tensão, podem ser individualizadas as taxas de crescimento relativas aos transformadores de distribuição e aos consumidores primários.

O segundo enfoque para avaliação da demanda futura das cargas do sistema corresponde ao estudo de mercado espacial. Neste estudo, a área é subdividida em micro-regiões ou quadrículas que permitem uma avaliação diferenciada por uso do solo e uso final de energia, relativa aos diferentes tipos de consumidores localizados na rede. Na entrada do módulo de Mercado Espacial são fornecidas as taxas de crescimento global para a região e diferentes fatores de ponderação por quadrícula.

O interPlan permite também apresentar o diagnóstico da rede, de forma a avaliar como esta se comportaria no futuro caso nenhum tipo de reforço fosse instalado. Assim, executando-se o cálculo do fluxo de potência da rede existente com a carga futura, pode-se determinar quais regiões são carentes de reforços por meio da visualização gráfica dos resultados obtidos no cálculo.

Com base no resultado dos recursos apresentados, o interPlan possui informações a respeito da rede que o permite auxiliar o engenheiro de planejamento na obtenção de um plano de expansão da rede que seja viável do ponto de vista técnico e interessante economicamente. Para isto, o interPlan possui os módulos de planejamento manual e planejamento automático.

No módulo de planejamento manual o usuário pode propor seus reforços na rede e avaliar para os anos subsequentes o efeito de tais alterações na rede de distribuição em análise. Este módulo permite que as obras sejam propostas em seu próprio ano de inclusão na rede e possibilita ao planeja-

dor a visualização de suas ações até o ano horizonte do planejamento.

O planejamento automático tem como principal objetivo a otimização do sistema de distribuição levando-se em consideração a função objetivo, que relaciona-se com investimento e níveis de perdas em demanda, e as restrições referentes à correta operação do sistema, neste caso envolvendo níveis de tensão e carregamento.

O modelo matemático implementado para processar a otimização consiste em um Algoritmo Genético com características especiais de representação e avaliação. É considerada, além dos reforços propostos, a reconfiguração dos alimentadores primários através da manobra de chaves.

#### IV-B.2) interPlanSUB

Assim como o interPlan, o interPlanSUB é um sistema desenvolvido para realizar o cálculo elétrico e estudos de planejamento em média e baixa tensão para redes de distribuição, no entanto, neste caso, redes de distribuição subterrâneas. Fez-se necessária a separação dos *softwares* em função das diferenças entre as metodologias usadas nos mesmos e as implicações em termos de recursos disponíveis que estas implicaram no programa.

Abaixo será apresentado o conjunto das principais funções disponíveis no programa interPlan Subterrâneo.

- Topologia: apresenta os equipamentos da rede selecionada. Nesta forma de visualização, o editor gráfico fica disponível ao usuário;
- Fluxo de potência: apresenta a informação de diagnóstico dos equipamentos nas cores verde, amarela ou vermelha que indicam: nível adequado, precário ou crítico de operação. O diagnóstico é obtido a partir do resultado do cálculo de fluxo de potência. Tanto as cores como as faixas de valores para o diagnóstico são configuráveis pelo usuário. Além disso, pequenos círculos se deslocam ao longo das ligações indicando o sentido do fluxo de potência;
- Curto circuito: apresenta todas as informações de tensão e correntes decorrentes de um defeito em uma barra ou trecho da rede selecionada.

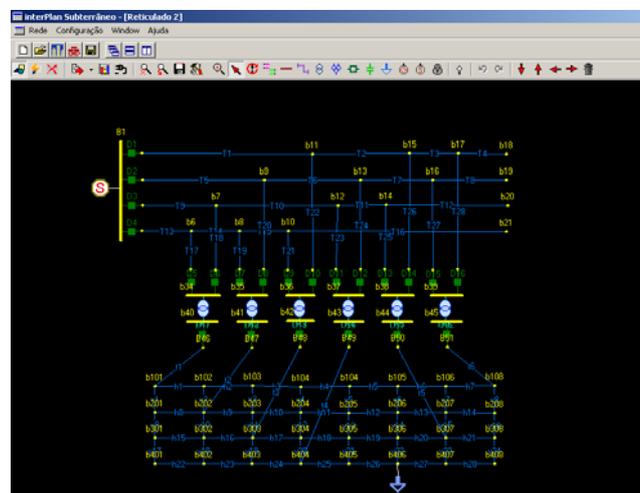


Figura 3 – Topologia de uma rede subterrânea

Na figura 3 é possível observar a topologia de uma rede

subterrânea aberta para estudo com o interPlan Subterrâneo.

O interPlanSUB possui um editor gráfico que permite as seguintes edições em uma rede:

- Edição de Equipamentos: os seguintes equipamentos podem ser incluídos, alterados ou excluídos de uma rede: barras, chaves, trechos, transformadores de 2 e 3 enrolamentos, cargas, capacitores, geradores e suprimentos.
- Manobra de Chaves: o editor possui um comando que permite abrir ou fechar uma chave diretamente.
- Intertravamento de Chaves: o editor permite definir intertravamento entre chaves do tipo 1xN, isto é, uma chave de referência e N chaves intertravadas. O estado da chave de referência e o estado de cada chave intertravadas são configuráveis. Quando a chave de referência assume o estado definido no intertravamento todas as chaves intertravadas assumem o respectivo estado definido no intertravamento.
- Transferência automática: o editor possui comando para simular o isolamento de equipamentos com defeito. Definido o conjunto de equipamentos com defeito, o editor opera todas as chaves necessárias para isolar o defeito. Havendo intertravamento entre chaves, as chaves intertravadas são operadas automaticamente. Este recurso permite simular a transferência automática de blocos da rede entre fontes alternativas de suprimento.

O programa possui também um módulo que auxilia a definir a demanda das cargas existentes em uma rede nos próximos cinco anos. É possível aplicar taxas percentuais de crescimento para cada carga individualmente ou para grupos de cargas selecionados pelo usuário.

Esse recurso, associado com o fluxo de potência, permite fazer diagnósticos da rede atual para vários cenários de crescimento.

O cálculo de fluxo de potência é executado automaticamente pelo programa sempre que necessário: quando a rede é selecionada na base de dados ou quando é feita alguma alteração pelo usuário através do editor. Na janela de fluxo de potência há comandos que permitem executar manobra de chaves, transferência automática e visualizar os resultados do fluxo de potência.

O cálculo de curto-circuito (trifásico, dupla fase, fase-terra, fase-terra com impedância, dupla fase-terra) é executado automaticamente pelo programa sempre que necessário: quando a rede é selecionada na base de dados ou quando é feita alguma alteração pelo usuário através do editor.

Na janela do curto-circuito há comandos para seleção de barras ou trechos para análise de curto-circuito além de ferramentas para manobra de chaves e apresentação de resultados.

#### *IV-B.3) Aplicativos de cálculos elétricos incorporados ao SIGEL*

De forma a atender a necessidade da empresa de concentrar suas ferramentas em sua base de dados (GIS), as rotinas de cálculo de fluxo de potência, corrente de curto-circuito, perdas elétricas e cálculo de folga receberam interfaces para

a comunicação com o banco de dados chamadas iCALC e iRET.

Assim, o iCALC realiza a extração dos dados da rede através do SIGEL, transfere-os para as rotinas específicas de cálculos elétricos e retorna os resultados à base de dados, disponibilizando-os aos usuários com acesso ao GIS.

Para o cálculo do fluxo de potência em redes aéreas radiais o iCALC vale-se do método de *Gauss* adaptado para redes radiais.

O iRET, assim como o iCALC, também trabalha como interface entre o GIS e os aplicativos de cálculos elétricos, porém o mesmo é destinado aos cálculos de reticulados presentes nas redes subterrâneas, possuidores de malhas.

O cálculo do fluxo de potência para redes com malha (subterrâneo) utiliza o método *Newton-Raphson*.

Tanto os módulos de cálculo elétrico para redes radiais quanto os módulos de cálculo elétrico para redes com presença de malha calculam ainda as perdas elétricas e corrente de curto-circuito da rede. Porém, cada configuração possui metodologia própria.

Ainda, o iRET e o iCALC realizam o cálculo de folga elétrica, que indica o valor máximo de demanda que poderá ser extraída de cada ponto da rede sem que haja transgressão dos seguintes critérios de projeto:

- carregamento máximo em todos os trechos da rede;
- tensão mínima em todos os nós da rede;
- carregamento máximo do(s) transformador(es) supridor(es) da rede.

Conforme mencionado, o resultado dos cálculos processados através do iCALC e do iRET são retornados através do SIGEL para o GIS, onde ficam à disposição para consulta por qualquer usuário que tenha acesso, adequando-se, desta forma, à filosofia de concentração e disponibilização de informações aplicada na empresa.

## V. RESULTADOS OBTIDOS

Conforme proposto nos objetivos deste projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, esperava-se como resultado deste trabalho a elaboração de softwares para cálculos elétricos e ferramentas para planejamento de redes de distribuição subterrâneas baseados nas plataformas instaladas na AES Eletropaulo.

Percebe-se através do que foi aqui exposto que as metas propostas inicialmente foram atingidas, e ainda, todos os recursos desenvolvidos para a rede subterrânea foram também extrapolados para a rede aérea.

Em verdade, este projeto demandou muito esforço e trabalho, tanto na pesquisa e desenvolvimento das metodologias que o compõem, quanto no desenvolvimento das ferramentas computacionais de que se utiliza para os cálculos.

No entanto, todo o empenho aplicado para a obtenção dos resultados mostrou-se válido perante a verificação de consistência, a partir de validação dos cálculos, dos resultados obtidos com os softwares desenvolvidos, num longo e importante processo de homologação. Os resultados destas validações também foram apresentados e aprovados pela empresa.

## VI. CONCLUSÕES

Com o conjunto de simulações e correspondente desenvolvimento de validações apontadas neste documento, avalia-se que os programas contemplados – todos recentemente implantados na AES ELETROPAULO – constituam-se poderosos instrumentais computacionais que auxiliam as atividades diárias dos planejadores do sistema.

Neste trabalho foi ressaltada a importância do GIS na integração de sistemas em empresas de distribuição e sua importância para as três áreas, principalmente para a área técnica, sobretudo no que se refere à implantação dos aplicativos de cálculos elétricos especializados.

A adoção dos aplicativos especializados de cálculos elétricos desenvolvidos pelo Enerq/EPUSP permitiram a plena adequação aos padrões de rede existentes na AES-Eletropaulo, com a introdução de novos conceitos de modelagem de carga, utilizada nos cálculos elétricos, baseados em curvas típicas de carga. Também, os aplicativos desenvolvidos de forma modular, permitiram grande flexibilidade na sua implementação.

O processamento de cálculos elétricos a partir de dados provenientes de em uma base cadastral real exige que esta seja bastante acurada (realidade cadastral), processo este que traz grandes dificuldades para a empresa. Por outro lado, a periodicidade na execução desses cálculos auxilia na identificação e correção de pontos falhos no cadastro da empresa, auxiliando na sua integridade.

Ressalta-se que, tanto o tamanho da empresa, como a magnitude de um projeto desta natureza, implicaram em um trabalho de longo prazo envolvendo, inclusive, alterações em processos e procedimentos da empresa.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### *Livros:*

- [1] GONEN, T., Electric Power Distribution Engineering, McGraw-Hill Book Company, 1986.
- [2] BILLINTON, R.; SINGH, C. System Reliability Modeling and Evaluation. Copyright Chanan Singh & Roy Billinton, 1977.
- [3] KAGAN, N.; ROBBA, E. J.; RAMOS, D. S. Estudo de curto circuito. São Paulo, 1986, PEA/EPUSP, s.ed.
- [4] GÖNEN, T.; FOOTE, B.L. Distribution system planning using mixed integer programming. Proc. IEE, v.128, Part C, n.2, p.70-9, Mar. 1981
- [5] C. C. B. de Oliveira, H. P. Schmidt, N. Kagan, E. J. Robba: Introdução a sistemas elétricos de potência - componentes simétricas. 2. ed. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher, 1996. v. 1. 467 p.
- [6] L. Q. Orsini: Curso de circuitos elétricos. São Paulo, Edgard Blücher, 1993-4. 2v.
- [7] N. Kagan, C. C. B. de Oliveira, E. J. Robba: Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. São Paulo, Brasil: Edgard Blücher, 2005. v. 1. 328 p.

### *Dissertações e Teses:*

- [8] KAGAN, N. Configuração de redes de distribuição através de algoritmos genéticos e tomada de decisão fuzzy, tese de Livre Docência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [9] KAGAN, N. Electrical power distribution systems planning using multiobjective and fuzzy mathematical programming. London, 1992.

215p. Thesis (Ph.D.). Queen Mary & Westfield College, University of London.

- [10] OLIVEIRA, C.C.B. Configuração de redes de distribuição de energia elétrica com múltiplos objetivos e incertezas através de procedimentos heurísticos. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, Universidade de São Paulo, 1997.
- [11] BURANI, G. Estudo sobre redes reticuladas, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica USP, 1978.
- [12] KLIMKOWSKI, M. Operação de redes subterrâneas com secundário em malha, , Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica USP, 1982.

### *Artigos Apresentados em Conferências:*

- [13] KAGAN, N.; SCHMIDT, H.P.; OLIVEIRA, C.C.B.; BOCUZZI, C.V.; DOMINGUES, I.T.. Design of secondary distribution networks incorporating risk analysis of electrical and mechanical parameters within a geographic information system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, Nice, França, 1999. CIRED '99
- [14] SCHMIDT, H.P.; KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.C.B.; OLIVEIRA, M.B.; UGOLINI, R.C.. Visual Projac - uma ferramenta para projeto de redes de distribuição utilizando um sistema de informação geográfica. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 3., São Paulo, 1998. 271-75.
- [15] OLIVEIRA, C.C.B.; KAGAN, N.; MEFFE, A.; JONATHAN, S.; CAPARROZ, J.; CAVARETTI, J. L. A new method for the computation of technical losses in electrical power distribution systems. CIRED – INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, Amsterdam, Holanda, 18 a 21 de junho de 2001.
- [16] KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.C.B.; SCHMIDT, H.P.; ROBBA, E.J. Methodology for automatic allocation of new facilities in distribution systems expansion planning. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION, Buenos Aires, 1996, CIRED ARGENTINA'96.
- [17] KAGAN, N.; OLIVEIRA, C.C.B.; ROBBA, E.J. SISPLAN - Metodologia de planejamento de expansão de sistema de distribuição primária de energia elétrica. In: SEMINÁRIO DE INGENIERIA DE POTÊNCIA IEEE CHILE, 4. / SEMINÁRIO DE DISTRIBUCCION DE ENERGIA ELÉTRICA, 1., Santiago de Chile, 1994, Anales. Santiago de Chile, Universidad de Santiago de Chile, 1994.
- [18] KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. Fuzzy decision model for the reconfiguration of distribution networks using genetic algorithms. PSCC - POWER SYSTEMS COMPUTATION CONFERENCE, Trondheim, Noruega, 28 de junho a 2 de julho de 1999.
- [19] OLIVEIRA, C. C. B.; KAGAN, N. Distribution expansion planning under uncertainty by a best first search technique. PSCC - POWER SYSTEMS COMPUTATION CONFERENCE, Trondheim, Noruega, 28 de junho a 2 de julho de 1999
- [20] BOUCHARD, D.É.; SALAMA, M.M.A.; CHIKHANI, A.Y. Optimal distribution feeder routing and optimal substation sizing and placement using evolutionary strategies. In: CANADIAN CONFERENCE ON ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING, New Scotia, 1994. Proceedings. New Scotia, 1994, p.661-4.