

**RENATO JOSÉ PINO DE ARAÚJO**

**OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO DE INDICADORES DE  
CONTINUIDADE DO SERVIÇO EM CONCESSIONÁRIAS DE  
DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS EVOLUTIVOS**

**São Paulo  
2011**

**RENATO JOSÉ PINO DE ARAÚJO**

**OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO DE INDICADORES DE  
CONTINUIDADE DO SERVIÇO EM CONCESSIONÁRIAS DE  
DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS EVOLUTIVOS**

**Tese apresentada ao Departamento de  
Engenharia de Energia e Automação  
Elétricas da Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para a obtenção  
do título de Doutor em Engenharia.**

**São Paulo  
2011**

**RENATO JOSÉ PINO DE ARAÚJO**

**OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO DE INDICADORES DE  
CONTINUIDADE DO SERVIÇO EM CONCESSIONÁRIAS DE  
DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS EVOLUTIVOS**

**Tese apresentada ao Departamento de  
Engenharia de Energia e Automação  
Elétricas da Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para a obtenção  
do título de Doutor em Engenharia.**

**Área de Concentração :  
Sistemas de Potência**

**Orientador: Dr. Nelson Kagan**

**São Paulo  
2011**

## DEDICATÓRIA

A meus pais, Getúlio (*in memorium*) e Maria Cícera, a minha esposa  
Ritinha, e meus filhos Renatinha e Victor.

## AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus sinceros agradecimentos:

Ao Professor Nelson Kagan pela orientação e paciência que tornou possível a finalização deste trabalho.

Aos Professores Marcos Gouvea, Carlos Tahan, Héran Prieto, e Carlos Barioni pelo apoio, estímulo durante a elaboração do trabalho.

À Xerxes Perreira gerente do projeto de pesquisa e José Antônio Brito de Sousa gestor dos projetos de pesquisa da COELBA, os quais tornaram possível a construção do trabalho base desta Tese.

A Professora Máriana pela enorme contribuição em quase todo trabalho.

A Professora Mônica Silveira pelas contribuições durante as revisões, na edição do textos, dos dados e gráficos utilizados.

A Robson Silva, impávido e infalível como Bruce Lee, que tornou possível a utilização dos softwares.

Aos amigos André Valente, Luciano Hocevar que de forma consistente e frequente me encorajaram e cobraram a finalização deste trabalho.

A todos (muitos) aqueles que compartilharam das angústias (muitas) e alegrias deste trabalho.

Sei lá, mil coisas...  
**(Pai Ubu na Peça de Teatro Ubu - Folias Physicas, Pataphysicas e Musicaes –  
Teatro do Ornitorrinco 1985 São Paulo)**

## RESUMO

A partir da reestruturação dos serviços públicos de energia elétrica, foi criada uma série de novas ferramentas regulatórias, simulando e/ou criando um ambiente competitivo, para que as empresas busquem continuamente a evolução de seus indicadores e custos. Com a edição da Resolução nº 024, de 27 de janeiro de 2000, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) atualizou a regulamentação dos aspectos relativos à continuidade do fornecimento de energia elétrica. As metas de continuidade são definidas através do *cluster* ao qual cada conjunto de consumidores está vinculado. Os conjuntos são agrupados pelas suas características físicas: área, km de rede primária, número de consumidores, potência de transformadores instalada e consumo médio do conjunto. Um dos pontos focais desta resolução é a possibilidade de uma concessionária agrupar unidades consumidoras, considerando as características técnicas específicas de seu sistema elétrico. Desta forma, o agente regulador permite que as concessionárias modifiquem seus conjuntos de consumidores, desde que fiquem evidenciadas vantagens técnicas, econômicas e sociais da nova proposta em relação ao critério vigente de agrupamento. Visando aperfeiçoar a utilização dos recursos, direcionando as ações para modicidade tarifária e considerando a capacidade de prover condições de atendimento homogêneo, este trabalho busca combinar os consumidores de uma concessionária em conjuntos que minimizem o risco de multa e a necessidade de investimentos nas redes. Este é um problema semelhante ao de redistribuição de eleitores nos distritos de votação nos EUA, conhecido como *Political Districting*. Para resolver o problema de explosão combinatória resultante das possíveis combinações de áreas e minimizar as multas, o modelo proposto neste trabalho utiliza técnicas de computação evolutiva. A metodologia é ilustrada alterando os 419 conjuntos iniciais de uma concessionária por meio de um algoritmo genético (AG) e um algoritmo imunológico (AI) que otimiza o resultado proposto, minimizando o risco de multas pelo não cumprimento das metas de continuidade.

Palavras-chave: 1 Distribuição de energia elétrica. 2 Computação evolutiva. 3 Otimização combinatória.

## ABSTRACT

From the restructuring of the Public Electric Power Sector, new regulatory tools were devised to simulate and create a competitive environment for companies to continuously seek targets for their indicators and costs. With the issue of Resolution nº 024 of January 27, 2000, the National Agency of Electric Energy (ANEEL) updated the rules in dealing with electricity supply continuity. The goals related to the continuity of service are defined through the cluster in which each set of consumers is bound. Consumers are grouped by their physical characteristics: area, length (km) of primary network, the number of consumers, power transformers installed capacity and average consumption. ANEEL allows the utilities to modify their sets of consumers, whenever the technical advantages, economic and social implications of the new proposal in relation to the current criterion of grouping become evident. Considering the possibility of avoiding unnecessary investments in networks, burdening the distribution tariff, this paper attempts to combine the consumers of a utility in sets that minimize the risk of penalties and network investments. This problem is similar to the redistribution in voting districts in the U.S., known as Political Districting. In order to solve the combinatorial explosion problem resulting from the possible combinations of areas and minimization of penalties, the model proposed in this paper uses evolutionary computation techniques. The case study alters the initial 419 sets of consumers of a utility through a genetic algorithm and an artificial immune algorithm, which were proposed to optimize the outcome, minimizing the risk of penalties in not meeting the goals related to continuity of service.

Keywords: 1 Distribuição de energia elétrica. 2 Evolutionary computation. 3 Combinatorial optimization.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01	Metodologia de formação dos conjuntos e suas metas de continuidade	41
Figura 02	Modelo genérico de algoritmo genético	55
Figura 03	Exemplo no sistema slétrico de minimização das perdas com duas fontes	57
Figura 04	Representação binária de indivíduos numéricos	57
Figura 05	Modelagem de indivíduos com estrutura de dados	58
Figura 06	Indivíduos de uma população e a sua correspondente roleta de seleção	62
Figura 07	Operador Genético – Torneio	63
Figura 08	Exemplo de crossover de um ponto	64
Figura 09	Operador genético - Mutação	64
Figura 10	Diagrama de bloco do algoritmo de Seleção Clonal	71
Figura 11	Regiões de complementaridade para o reconhecimento antígeno-anticorpo	72
Figura 12	Possibilidades de agrupamento de 03 áreas	78
Figura 13	Divisão conjuntos nos agrupamentos/clusters	81
Figura 14	Novo conjunto de consumidores das áreas B e C e suas novas metas	84
Figura 15	Combinação de dois municípios – Área urbana e rural	86
Figura 16	Formação de um único conjunto	86
Figura 17	Formação de quatro conjuntos	86
Figura 18	Formação de conjuntos com áreas agrupadas três a três	86
Figura 19	Formação de conjuntos com áreas agrupadas dois a dois	87
Figura 20	Formação de conjuntos com áreas agrupadas dois, um,um	87
Figura 21	Matriz de restrição	88
Figura 22	Modelagem inicial do individuo	91
Figura 23	Regional fictícia e dados	92
Figura 24	Indivíduo atual	92
Figura 25	Indivíduo formado pela união das áreas (a+b), (c+d),(e+h),(f),(g).	92
Figura 26	Indivíduo formado pela união das áreas (a+f),(b),(c), (d+e+g),(h).	92
Figura 27	Indivíduo formado pela união das áreas (a), (b+d+g),(c+f),(e+h)	93
Figura 28	Indivíduo formado pela união das áreas (a+b), (c+d),(e+h),(f),(g)	93

Figura 29	Exemplo de Regional fictícia	99
Figura 30	Modelo do novo indivíduo	100
Figura 31	Indivíduo (a + b) (c + g), (d + e), (h), (f) (g)	100
Figura 32	Tela Principal do SOA	104
Figura 33	Parâmetros de entrada dos Algoritmos Genéticos	105
Figura 34	Exemplo de conjuntos fictícios	106
Figura 35	Modelo do novo indivíduo	106
Figura 36	Exemplo de indivíduo do novo modelo	106
Figura 37	Outro exemplo de indivíduo do novo modelo	107
Figura 38	Parâmetros do algoritmo de Seleção Clonal	113
Figura 39	Desempenho do indicador DEC (Brasil) – 2001 à 2008	118
Figura 40	Redistribuição de blocos de carga entre subestações	123
Figura 41	Modelagem das configurações do sistema de distribuição	124
Figura 42	Custos totais associados à confiabilidade	125

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

