

Otimização Aplicada à Engenharia de Processos

Aula 1: Introdução

Felipe Campelo

<http://www.cpdee.ufmg.br/~fcampelo>

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Belo Horizonte
Março de 2013

Dados Gerais

- Horário: Sexta-feira, 19:00 - 21:45
 - Incluindo um *break* de 15 minutos;
- Carga Horária: 45 horas-aula (3 créditos)
- Professor: Felipe Campelo
 - Departamento de Engenharia Elétrica, sala 2225
 - fcampelo@ufmg.br
 - <http://www.cpdee.ufmg.br/fcampelo>

Um pouco sobre mim

- Graduação: Engenharia Elétrica/UFMG, 2003;
- Mestrado: Master of Information Science and Technology/Hokkaido University, 2006;
 - *“Study of Immune Algorithms for Optimization of Electromagnetic Systems”*
- Doutorado: Doctor of Engineering/Hokkaido University, 2009;
 - *“Evolutionary Design of Electromagnetic Systems using Topology and Parameter Optimization”*
- Professor na UFMG desde 2010



Um pouco sobre vocês

- *Background?*
- Expectativas para o curso?
- Expectativas além do curso?

Cronograma proposto

- Parte 1: Otimização linear:

Aula	Data	Assunto
1	08/03	Introdução.
2	15/03	Programação matemática.
3	22/03	Programação linear.
-	29/03	Feriado
4	05/04	Programação linear.
5	12/04	Métodos para programação linear
6	19/04	Métodos para programação linear
7	26/04	PROVA 1
-	03/05	Não haverá aula

Cronograma proposto

- Parte 2: Otimização não-linear:

Aula	Data	Assunto
8	10/05	Programação não-linear.
9	17/05	Programação não-linear.
10	24/05	Propriedades de problemas de PNL.
-	31/05	Feriado.
11	07/06	Métodos determinísticos para PNL - irrestrito.
12	14/06	Métodos determinísticos para PNL - restrições.
13	21/06	Métodos estocásticos para PNL.
14	28/06	Métodos estocásticos para PNL.
15	05/07	PROVA 2

Critérios de avaliação

Item	Data	Tipo	Valor
P1	26/04	Prova	20
TC1	10/05	Trabalho Computacional	25
TC1	21/06	Trabalho Computacional	25
P2	05/07	Prova	30

Bibliografias utilizadas

- ① D.G. Luenberger, Y. Ye, Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley Publishing Company, 3rd. Edition;
- ② T.S. Ferguson, Linear Programming: a Concise Introduction, online:
<http://www.math.ucla.edu/~tom/LP.pdf>;
- ③ M.S. Bazaraa, H.D. Sherali, C.M. Shetty, Nonlinear Programming: Theory and Algorithms, Wiley, 3rd. Edition.
- ④ Dissertações e Teses do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica;
- ⑤ Notas de Aula da Disciplina.

Estrutura do curso

Perguntas e comentários sobre a estrutura do curso?

Conceitos preliminares

Nesta unidade, iremos:

- Discutir, de maneira preliminar, o que são os problemas de otimização;
- Mostrar como diferentes tipos de problemas exigem diferentes estratégias de otimização;
- Ilustrar alguns exemplos de aplicação das técnicas e métodos de otimização.

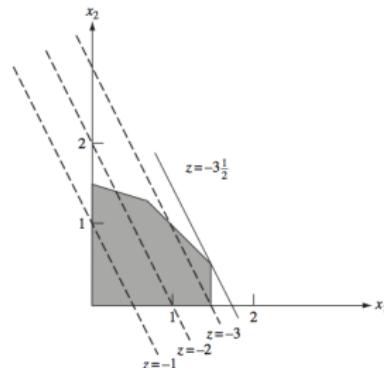
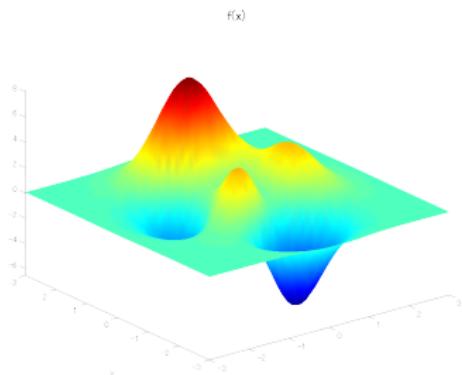
Conceitos preliminares

Sob o ponto de vista prático, a *otimização* trata do conjunto de métodos capazes de determinar as melhores configurações possíveis para a construção ou o funcionamento de sistemas de interesse.

Aplicação de um arcabouço matemático, e das técnicas matemáticas e computacionais derivadas deste arcabouço, para o tratamento de problemas diversos em ciência e engenharia.

Conceitos preliminares

Em termos simples, o problema de otimização pode ser interpretado como a busca por valores de variáveis que resultem na maximização ou minimização de determinadas funções dentro de um determinado domínio, normalmente definido através de restrições tecnológicas, físicas ou normativas.



Conceitos preliminares

Dentre os inúmeros problemas práticos tratáveis através de otimização, podemos citar brevemente:

- Determinação do melhor projeto possível para um circuito, antena, ou motor elétrico;
- Derivação do melhor ajuste possível para os controles de um determinado processo industrial;
- Estabelecimento de rotas de mínimo custo para a entrega de produtos a clientes;
- Geração da melhor estratégia de tráfego de informação, visando maximizar o fluxo global de informação em uma rede de computadores;

Conceitos preliminares

A área de otimização (também conhecida como *programação matemática*) pode ser dividida de acordo com as características dos problemas que se deseja resolver¹:

- Programação linear;
- Programação não-linear:
 - Otimização irrestrita;
 - Otimização com restrições;

¹ Baseado em Luenberger & Ye, *Linear and Nonlinear Programming*

Programação matemática

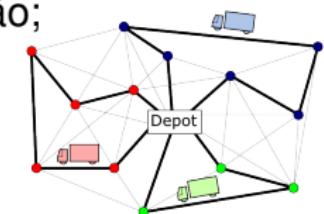
A área de programação matemática, apesar do nome, não necessariamente envolve a programação de computadores:

- **Programação:** planejamento de atividades;
- **Matemática:** o problema é representado por um modelo matemático composto por (uma ou mais) funções objetivo e restrições dependentes das variáveis de decisão.

Programação linear

Quando tanto o objetivo quanto as restrições do problema podem ser representados como funções lineares, temos um problema de programação linear.

- Problemas de transporte e roteamento;
- Problemas de alocação ótima de atividades;
- Problemas de definição de misturas ótimas - custo *versus* desempenho;
- Problemas de planejamento de produção;
- Problemas de *warehousing*;



Programação não-linear

Quando o objetivo ou as restrições do problema precisam ser representados por funções não-lineares, temos um problema de programação não-linear.

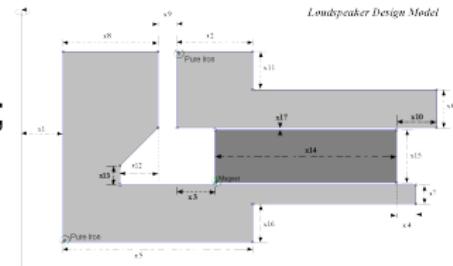
Esta classe de problemas pode conter problemas irrestritos ou, mais frequentemente, problemas com estruturas de restrições.

Técnicas para a solução de problemas com restrições usualmente funcionam através da transformação do problema restrito em um irrestrito - funções de penalização, etc..

Programação não-linear

Alguns exemplos de problemas tratados através de otimização não-linear:

- Otimização de antenas de superfície;
- Maximização de lucros em sistemas de produção;
- Minimização de volume em dispositivos eletromagnéticos;
- Planejamento de *portfolios*;
- Otimização estrutural de aviões;



Tipos de ferramentas

As ferramentas utilizadas para a solução destes problemas também podem ser divididas em dois grandes grupos:

- Métodos exatos;
- Heurísticas.

Métodos exatos

Algoritmos exatos para a soluções de problemas de otimização são aqueles que - dadas certas premissas sobre o comportamento dos problemas - garantem a obtenção de uma solução ótima exata.

- Pontos positivos: garantia de otimalidade, provas de convergência;
- Pontos negativos: tempo computacional, escalabilidade, premissas estritas.

Heurísticas

Heurísticas são métodos projetados para a solução de problemas nos quais os métodos exatos deixam de ser alternativas interessantes, seja devido à violação das premissas de funcionamento ou por problemas de escalabilidade.

- Pontos positivos: capacidade de obter boas soluções em tempo computacional viável, aplicabilidade a problemas onde técnicas exatas não funcionam bem;
- Pontos negativos: não-garantia de otimalidade ou acurácia, necessidade de ajuste de parâmetros.

Exemplos de aplicações

Otimização de micro indutores

- Problema: determinadas características elétricas são requeridas para um micro indutor, que além disto deve requerer o menor volume de material possível;
- Micro indutor Taiyo-Yuden.

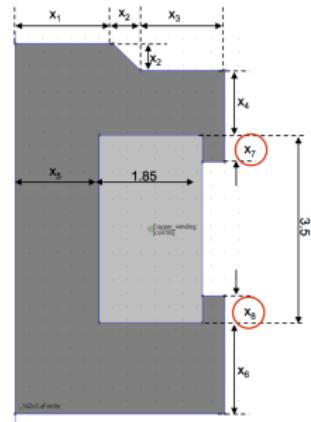
Minimize: Core Volume

Subject to:

$$L(i=1\mu A) = 100 \mu H \pm tol\%$$

$$\Delta L(i=1A) \leq 5\%$$

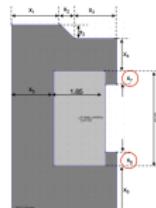
$$Q \geq 25$$



Exemplos de aplicações

Otimização de micro indutores

- Etapa de modelagem e refinamentos;
- Etapa de validação experimental dos modelos;
- Etapa de otimização para diversos níveis de tolerância na restrição de indutância;
- Etapas de decisão;
- Etapa de validação experimental dos resultados;
- Integração com sistema de interesse.



Exemplos de aplicações

Otimização de micro indutores

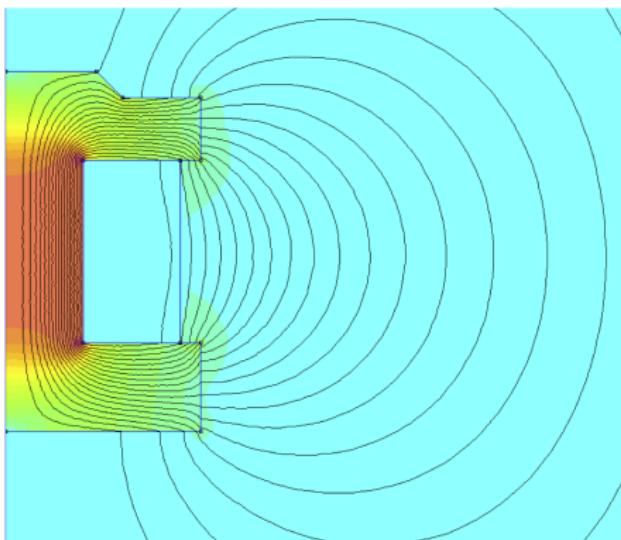
- Configuração original.

Volume: 159.17 mm³

$L(i=1\mu A) = 95.52 \mu H$

$L(i=1A) = 93.07 \mu H$

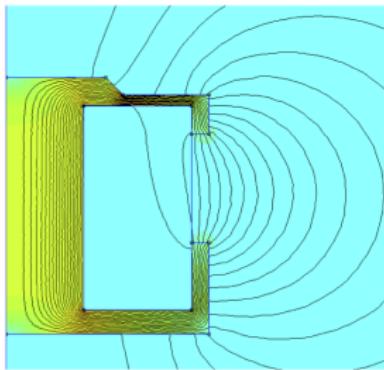
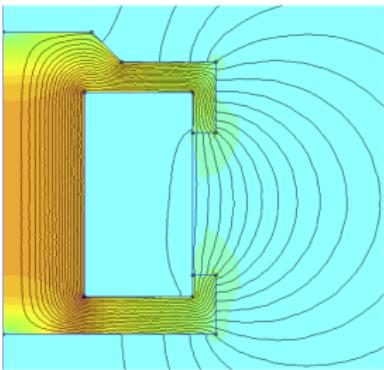
$\Delta L = 0.03 (3\%)$



Exemplos de aplicações

Otimização de micro indutores

- Alguns resultados.



$$L = 100 \mu\text{H} \pm 0\%$$

Optimization Results

Volume: 85.89 mm^3

$$L(i=1\mu\text{A}) = 100.00 \mu\text{H}$$

$$L(i=1\text{A}) = 92.84 \mu\text{H}$$

$$\Delta L = 0.07 (7\%)$$

$$L = 100 \mu\text{H} \pm 1\%$$

Optimization Results

Volume: 57.03 mm^3

$$L(i=1\mu\text{A}) = 99.48 \mu\text{H}$$

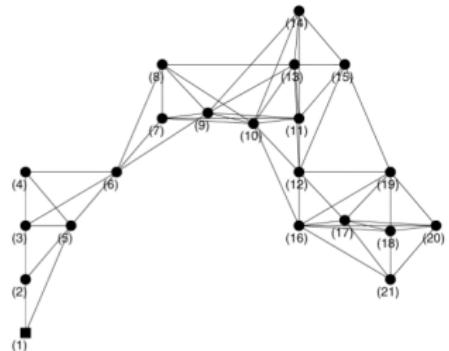
$$L(i=1\text{A}) = 75.76 \mu\text{H}$$

$$\Delta L = 0.23 (23\%)$$

Expansão de redes de distribuição elétrica

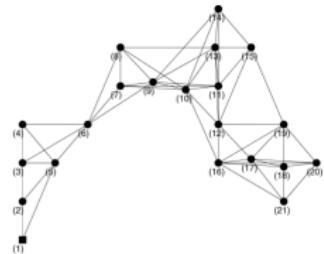
- Problema: planejamento da expansão de redes de distribuição de eletricidade, sujeitas a incertezas em relação à evolução das cargas;
- Exemplo: sistema de 21 nós

V_{BASE}	13.8kV
S_{BASE}	100,000kVA
Nominal energy cost	\$0.06/kWh
Interest rate	10%/year
Analysis time	10 years



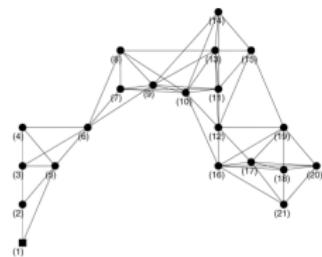
Expansão de redes de distribuição elétrica

- Objetivos duais: minimização de perdas elétricas e minimização de investimentos em novas estruturas;
 - Combinação linear dos objetivos;
- Restrições do problema:
 - Capacidade das linhas;
 - Nível de tensão nos barramentos;
 - Conectividade da rede;
 - Radialidade da rede.



Expansão de redes de distribuição elétrica

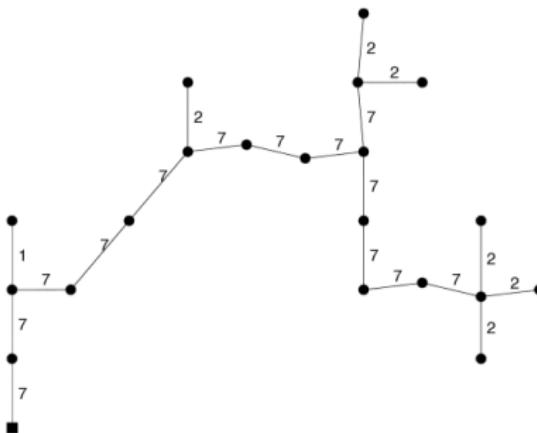
- Considerações de incerteza na evolução das cargas e das tarifas de eletricidade;
- Horizonte de tempo considerado: 10 anos;
- Nove tipos possíveis de cabos para instalação.



Exemplos de aplicações

Expansão de redes de distribuição elétrica

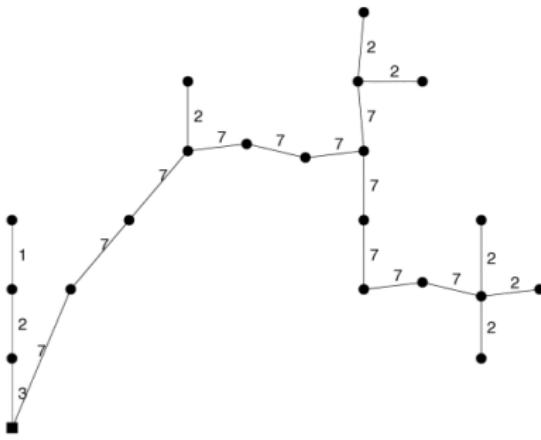
- Alguns resultados: solução para condições nominais.
 - Custo da rede (nominal): \$1.132.799
 - Taxa de infactibilidade: 73%
 - Custo médio de falhas: \$1.831.968



Exemplos de aplicações

Expansão de redes de distribuição elétrica

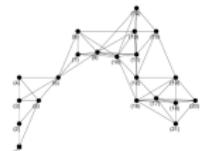
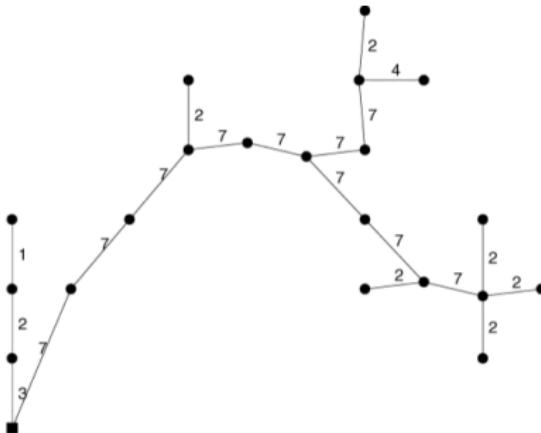
- Alguns resultados: soluções robustas a falhas.
 - Custo da rede (nominal): \$1.157.128
 - Taxa de infactibilidade: 0,35%
 - Custo médio de falhas: \$1.736.293



Exemplos de aplicações

Expansão de redes de distribuição elétrica

- Alguns resultados: soluções robustas a falhas.
 - Custo da rede (nominal): \$1.194.965
 - Taxa de infactibilidade: 0,35%
 - Custo médio de falhas: \$1.689.429



Abrangência e escopo

- A gama de aplicações de otimização é virtualmente inumerável;
- Em geral aplicável a qualquer sistema passível de modelagem matemática/computacional, para o qual haja um ou mais critérios de qualidade ou custo que se deseje melhorar;
- Em muitos casos, modelos clássicos podem ser adaptados; em outros, a modelagem pode ser de realização razoavelmente simples;
- Esforço de modelagem e otimização *versus* ganhos potenciais (desempenho, custos, etc).

Perguntas e comentários?