

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

# Apresentação da Disciplina

SME0212/SME5720

Elias Salomão Helou Neto  
ICMC – USP

# Pra que serve?

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aplicações

- Aumentar eficiência (redução de custos, PO)

# Pra que serve?

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aplicações

- Aumentar eficiência (redução de custos, PO)
- Aprendizado de máquina (treinamento = otimização)

# Pra que serve?

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aplicações

- Aumentar eficiência (redução de custos, PO)
- Aprendizado de máquina (treinamento = otimização)
- Planejamento (rotas, produção, processos)

# Pra que serve?

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aplicações

- Aumentar eficiência (redução de custos, PO)
- Aprendizado de máquina (treinamento = otimização)
- Planejamento (rotas, produção, processos)
- Reconstrução e processamento de imagens

# Pra que serve?

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aplicações

- Aumentar eficiência (redução de custos, PO)
- Aprendizado de máquina (treinamento = otimização)
- Planejamento (rotas, produção, processos)
- Reconstrução e processamento de imagens
- Engenharia

# Pra que serve?

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aplicações

- Aumentar eficiência (redução de custos, PO)
- Aprendizado de máquina (treinamento = otimização)
- Planejamento (rotas, produção, processos)
- Reconstrução e processamento de imagens
- Engenharia
- Aplicações teóricas em matemática

# Expectativas?

## Apresentação da Disciplina

Elias Helou

## Introdução

Descrição

## Avaliação

## Planejamento

O que vocês esperam da disciplina?



## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita

## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita
  - condições de otimalidade

## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita
  - condições de otimalidade
  - métodos para otimização sem restrições

## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita
  - condições de otimalidade
  - métodos para otimização sem restrições
- Otimização com restrições

## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita
  - condições de otimalidade
  - métodos para otimização sem restrições
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade de Karush-Kuhn-Tucker

## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita
  - condições de otimalidade
  - métodos para otimização sem restrições
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade de Karush-Kuhn-Tucker
  - métodos para restrições "simples"

## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita
  - condições de otimalidade
  - métodos para otimização sem restrições
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade de Karush-Kuhn-Tucker
  - métodos para restrições "simples"
  - métodos de pontos interiores



## Objetivos

Capacitar o aluno a perceber, formular e resolver problemas de otimização não linear.

## Programa

- Otimização irrestrita
  - condições de otimalidade
  - métodos para otimização sem restrições
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade de Karush-Kuhn-Tucker
  - métodos para restrições "simples"
  - métodos de pontos interiores
  - lagrangianos aumentados

## Objetivos

Aprofundar os estudos em otimização não-linear.

## Objetivos

Aprofundar os estudos em otimização não-linear.

## Justificativa

O aprofundamento dos estudos em otimização não-linear é necessário para um aluno a desenvolver pesquisa na área de otimização, pois se trata de uma ferramenta fundamental na resolução de problemas práticos, bem como de um valoroso corpo de conhecimento matemático teórico.

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos
  - métodos de direções conjugadas

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos
  - métodos de direções conjugadas
  - tópicos de métodos quasi-newtonianos

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos
  - métodos de direções conjugadas
  - tópicos de métodos quasi-newtonianos
- Otimização com restrições



## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos
  - métodos de direções conjugadas
  - tópicos de métodos quasi-newtonianos
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos
  - métodos de direções conjugadas
  - tópicos de métodos quasi-newtonianos
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade
  - métodos primais

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos
  - métodos de direções conjugadas
  - tópicos de métodos quasi-newtonianos
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade
  - métodos primais
  - métodos de penalidade e barreira

## Conteúdo

- Aplicações avançadas da Otimização Não-linear
- Problemas irrestritos
  - métodos de direções conjugadas
  - tópicos de métodos quasi-newtonianos
- Otimização com restrições
  - condições de otimalidade
  - métodos primais
  - métodos de penalidade e barreira
  - dualidade e métodos duais

## Fontes

- Bertsekas, D. P. – Non Linear Programming, Athena Scientific, 2003

## Fontes

- Bertsekas, D. P. – Non Linear Programming, Athena Scientific, 2003
- Luenberger, D. G. – Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley, 1984

## Fontes

- Bertsekas, D. P. – Non Linear Programming, Athena Scientific, 2003
- Luenberger, D. G. – Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley, 1984
- Demais itens nas ementas das disciplinas

# Bibliografia

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Fontes

- Bertsekas, D. P. – Non Linear Programming, Athena Scientific, 2003
- Luenberger, D. G. – Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley, 1984
- Demais itens nas ementas das disciplinas
- Apresentações e notas de aula



# Bibliografia

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Fontes

- Bertsekas, D. P. – Non Linear Programming, Athena Scientific, 2003
- Luenberger, D. G. – Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley, 1984
- Demais itens nas ementas das disciplinas
- Apresentações e notas de aula
- Livro de Ana Friedlander ([link](#))

# Bibliografia

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Fontes

- Bertsekas, D. P. – Non Linear Programming, Athena Scientific, 2003
- Luenberger, D. G. – Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesley, 1984
- Demais itens nas ementas das disciplinas
- Apresentações e notas de aula
- Livro de Ana Friedlander ([link](#))
- Livro de José M. Martinez e Sandra A. Santos ([link](#))

# Avaliação

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

**Avaliação**

Planejamento

## Objetivos

Medir o atingimento das metas de aprendizado:

## Objetivos

Medir o atingimento das metas de aprendizado:

- reconhecer problemas que podem ser resolvidos por técnicas de otimização não-linear

## Objetivos

Medir o atingimento das metas de aprendizado:

- reconhecer problemas que podem ser resolvidos por técnicas de otimização não-linear
- elaborar modelos de otimização não-linear

## Objetivos

Medir o atingimento das metas de aprendizado:

- reconhecer problemas que podem ser resolvidos por técnicas de otimização não-linear
- elaborar modelos de otimização não-linear
- utilizar métodos adequados para resolver problemas de otimização não-linear

# Avaliação

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Objetivos

Medir o atingimento das metas de aprendizado:

- reconhecer problemas que podem ser resolvidos por técnicas de otimização não-linear
- elaborar modelos de otimização não-linear
- utilizar métodos adequados para resolver problemas de otimização não-linear

## Formato

- provas teóricas  $p_1$  e  $p_2$

# Avaliação

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Objetivos

Medir o atingimento das metas de aprendizado:

- reconhecer problemas que podem ser resolvidos por técnicas de otimização não-linear
- elaborar modelos de otimização não-linear
- utilizar métodos adequados para resolver problemas de otimização não-linear

## Formato

- provas teóricas  $p_1$  e  $p_2$
- trabalho prático  $t_1$



# Avaliação

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Objetivos

Medir o atingimento das metas de aprendizado:

- reconhecer problemas que podem ser resolvidos por técnicas de otimização não-linear
- elaborar modelos de otimização não-linear
- utilizar métodos adequados para resolver problemas de otimização não-linear

## Formato

- provas teóricas  $p_1$  e  $p_2$
- trabalho prático  $t_1$
- média final  $0.3p_1 + 0.3p_2 + 0.4t_1$

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

**Planejamento**

## Aula 1

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 1

- Otimização não-linear irrestrita (notação)

## Aula 1

- Otimização não-linear irrestrita (notação)
- Definição de otimizador irrestrito global

## Aula 1

- Otimização não-linear irrestrita (notação)
- Definição de otimizador irrestrito global
- Definição de otimizador irrestrito local

## Aula 1

- Otimização não-linear irrestrita (notação)
- Definição de otimizador irrestrito global
- Definição de otimizador irrestrito local
- Definição de diferenciabilidade

## Aula 1

- Otimização não-linear irrestrita (notação)
- Definição de otimizador irrestrito global
- Definição de otimizador irrestrito local
- Definição de diferenciabilidade
- Condição necessária local para o caso diferenciável irrestrito

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução  
Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 1

- Otimização não-linear irrestrita (notação)
- Definição de otimizador irrestrito global
- Definição de otimizador irrestrito local
- Definição de diferenciabilidade
- Condição necessária local para o caso diferenciável irrestrito
- Exemplo (quadrados mínimos)



# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

**Planejamento**

## Aula 2

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 2

- Condição suficiente local para o caso duas vezes diferenciável irrestrito

## Aula 2

- Condição suficiente local para o caso duas vezes diferenciável irrestrito
- Exemplo (quadrados mínimos)

## Aula 2

- Condição suficiente local para o caso duas vezes diferenciável irrestrito
- Exemplo (quadrados mínimos)
- A direção de máxima descida

## Aula 2

- Condição suficiente local para o caso duas vezes diferenciável irrestrito
- Exemplo (quadrados mínimos)
- A direção de máxima descida
- O método de máxima descida com passo fixo

## Aula 2

- Condição suficiente local para o caso duas vezes diferenciável irrestrito
- Exemplo (quadrados mínimos)
- A direção de máxima descida
- O método de máxima descida com passo fixo
  - Convergência para funções com gradiente Lipschitz

## Aula 2

- Condição suficiente local para o caso duas vezes diferenciável irrestrito
- Exemplo (quadrados mínimos)
- A direção de máxima descida
- O método de máxima descida com passo fixo
  - Convergência para funções com gradiente Lipschitz
  - Exemplo computacional

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 3



## Aula 3

- O método de máxima descida com busca monótona de Armijo

## Aula 3

- O método de máxima descida com busca monótona de Armijo
  - Convergência para funções continuamente diferenciáveis

## Aula 3

- O método de máxima descida com busca monótona de Armijo
  - Convergência para funções continuamente diferenciáveis
  - Exemplo computacional

## Aula 3

- O método de máxima descida com busca monótona de Armijo
  - Convergência para funções continuamente diferenciáveis
  - Exemplo computacional
  - Comparação com o caso de passo fixo

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 4

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 4

- Direção de descida

## Aula 4

- Direção de descida
  - Definição

## Aula 4

- Direção de descida
  - Definição
  - Exemplo concreto  $-M\nabla f(\mathbf{x})$



## Aula 4

- Direção de descida
  - Definição
  - Exemplo concreto  $-M\nabla f(\mathbf{x})$
  - Direção de Newton

## Aula 4

- Direção de descida
  - Definição
  - Exemplo concreto  $-M\nabla f(\mathbf{x})$
  - Direção de Newton
- Método de direção de descida com busca monótona de Armijo

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

**Planejamento**

## Aula 5

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução  
Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 5

- Método de Newton

## Aula 5

- Método de Newton
- Método de Newton com busca monótona de Armijo e salvaguardas

## Aula 5

- Método de Newton
- Método de Newton com busca monótona de Armijo e salvaguardas
- Busca linear não-monótona (Lucidi-Lampariello-Grippio e Zhang-Hager)

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução  
Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 5

- Método de Newton
- Método de Newton com busca monótona de Armijo e salvaguardas
- Busca linear não-monótona (Lucidi-Lampariello-Grippo e Zhang-Hager)
- Exemplo computacional

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 6



## Aula 6

- Métodos quase-Newton: DFP e BFGS

## Aula 6

- Métodos quase-Newton: DFP e BFGS
- Método de direções conjugadas

## Aula 6

- Métodos quase-Newton: DFP e BFGS
- Método de direções conjugadas
- Exemplo computacional

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

**Planejamento**

## Aula 7

## Aula 7

- Definição de função convexa

## Aula 7

- Definição de função convexa
- Propriedades teóricas em minimização

## Aula 7

- Definição de função convexa
- Propriedades teóricas em minimização
- Método acelerado de Nesterov

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução

Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 7

- Definição de função convexa
- Propriedades teóricas em minimização
- Método acelerado de Nesterov
- O operador proximal



# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução  
Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 7

- Definição de função convexa
- Propriedades teóricas em minimização
- Método acelerado de Nesterov
- O operador proximal
- O famoso método FISTA

# Planejamento

Apresentação  
da Disciplina

Elias Helou

Introdução  
Descrição

Avaliação

Planejamento

## Aula 7

- Definição de função convexa
- Propriedades teóricas em minimização
- Método acelerado de Nesterov
- O operador proximal
- O famoso método FISTA
- Exemplo computacional