

Ministério da Educação
Universidade Federal do Agreste
de Pernambuco

Relatório Final
Métodos de Otimização

Ministério da Educação
Universidade Federal do Agreste
de Pernambuco

Relatório Final
Métodos de Otimização

Mateus Baltazar de Almeida
Matheus Machado Vieira
Orientador: Gersonilo Oliveira da Silva

Sumário

1	Métodos Matemáticos de Otimização	7
1.1	O Conceito de Otimização	7
1.2	Otimização de Funções à Uma Variável Real	8
1.3	Programando o Método	10
1.4	Otimização de Funções à Várias Variáveis	11
2	Métodos Clássicos de Otimização	13
2.1	O Método de Newton	13
2.2	Outros Métodos	13
2.3	Programando os Métodos	13
2.4	O Método de Newton para Várias Variáveis	13
3	Os Métodos Modernos de Otimização	15
3.1	Breve Relato Histórico	15
3.2	Métodos de Um	15
3.2.1	O Método - Uma breve descrição	15
3.2.2	Exemplos Aplicações	15
3.2.3	Possíveis Aplicações	15
3.3	Métodos de Dois	15
3.3.1	O Método - Uma breve descrição	15
3.3.2	Exemplos Aplicações	15
3.3.3	Possíveis Aplicações	15
3.4	Um com o outro	15
4	Aplicações à Mecânica Celeste	17
4.1	Entendendo o Problema de N Corpos	17
4.2	A Otimização na Mecânica	17
4.3	Resultados Numéricos	17
5	Demais Resultados	19
5.1	Outros Resultados	19
5.1.1	19

Capítulo 1

Métodos Matemáticos de Otimização

1.1 O Conceito de Otimização

Diz-se otimização, o processo que tem como objetivo encontrar condições que minimizam ou maximizam algo (seja energia, tempo, dinheiro, etc). Sendo este, muitas vezes um trabalho árduo, custoso.

Dessa maneira, na matemática, este processo é amplamente utilizado quando busca-se valores pertencentes ao conjunto A (que pode ter restrições), com o objetivo de encontrar uma solução ótima, aplicando os valores de A em numa função objetivo predefinida.

Podendo assim, ser representada da seguinte forma:

Dada a função

$$f : A \rightarrow \mathbb{R} \quad (1.1)$$

- Maximização pode ser definida como:

busca pelo elemento $x_0 \in A$, que satisfaz:

$$f(x_0) \geq f(x); \quad (1.2)$$

para todo $x \in A$.

- Minimização pode ser definida como:

busca pelo elemento $x_0 \in A$, que satisfaz:

$$f(x_0) \leq f(x); \quad (1.3)$$

para todo $x \in A$.

Com isso, podemos agora entender como esse processo pode ser custoso. Iniciando com fato de que existem os pontos máximos e mínimos (pontos críticos), locais e globais, no espaço das funções. Sendo os pontos críticos locais, aqueles que não são os menores ou maiores valores para a minimização e maximização, respectivamente.

E os pontos globais, aqueles que representam o menor ou maior valor no espaço das funções, para a minimização e maximização, respectivamente.

Criando assim, uma certa incerteza ao encontrar um valor crítico numa função, já que é estritamente difícil saber se o ponto crítico encontrado é local ou global. Como pode-se perceber na Figura 1.1.

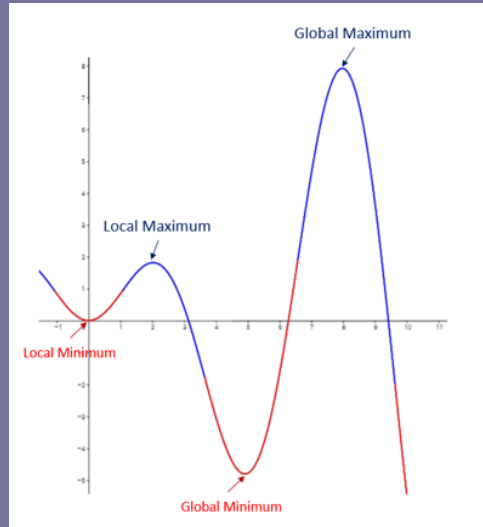


Figura 1.1: Exemplo de pontos críticos locais e globais indicados no gráfico de uma função

1.2 Otimização de Funções à Uma Variável Real

Evidente que funções possuem as variáveis dependentes (a qual representa o objeto da otimização) e variáveis independentes (cujo suas grandezas podem ser selecionadas), podemos denotar que, para a equação

$$y = f(x), \quad (1.4)$$

quando buscamos otimizá-la, temos como objetivo encontrar valores que quando aplicados à x , temos o mínimo ou máximo valor y (seja ele local, ou preferencialmente global).

Partindo dessa perspectiva, acaba surgindo a necessidade de utilizar algum recurso para encontrar os pontos críticos. E nesse sentido, pode-se utilizar a técnica de **derivação**, donde, oferece como recurso a possibilidade de identificar tais pontos.

A derivada é a representação da taxa de variação de uma função, em relação a um ponto. A partir daí, podemos observar um fator interessante; por exemplo, quando a função está num ponto máximo, existem duas possibilidades, a primeira, sendo a função parando de crescer e em seguida se tornando indefinida; e a segunda possibilidade quando a função para de crescer e começa a decrescer. Com isso, é importante ressaltar que por definição, quando a derivada (taxa de variação) em um

ponto é positiva, a função cresce, e quando negativa a função decresce. Conclui-se que, quando a derivada que representa a taxa de variação é zero, a função ou para de crescer ou de decrescer, sendo assim um ponto de máximo ou de mínimo.

Com o uso da derivada, podemos pensar num método de otimização bastante simples, considerando $f(x)$ a função que queremos otimizar e $f'(x)$ sua função derivada, podemos dizer que o conjunto O possui todos os ótimos locais e globais de $f(x)$:

$$O := \{f(x) | f'(x) = 0\} \quad (1.5)$$

Portanto, aplicando um filtro em O para obter o máximo e mínimo do conjunto, acabamos por obter o máximo e mínimo de $f(x)$:

$$\max(f(x)) = \max(O) \quad (1.6)$$

$$\min(f(x)) = \min(O) \quad (1.7)$$

Então podemos perceber dois problemas, determinar como encontrar os pontos onde a derivada se anule, e determinar se temos de fato todos os pontos.

Desconsiderando por agora o problema de determinar se tem-se todos os pontos críticos. Vamos considerar então o problema de encontrar os pontos críticos, levando em conta boas aproximações.

O Método de Newton nos diz que uma sequência $\{x_k\}$ converge para o mínimo de $f(x)$:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f'(x_k)}{f''(x_k)} \quad (1.8)$$

O que este método faz de fato é encontrar zeros de uma função $g(x)$ a partir da mesma sequência $\{x_k\}$, afim de que x_k converga para uma entrada x^* de $g(x)$, tal que a mesma se anule:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{g(x_k)}{g'(x_k)} \quad (1.9)$$

$$g(x^*) = 0 \quad (1.10)$$

Com isso temos um método que minimiza uma função que pode ser derivada duas vezes (caso não possa, aproximações de suas primeiras e segundas derivadas podem ser boas o suficiente) a partir de um valor de entrada. O método é simples, entrega muitas vezes ótimos locais próximos ao ponto inicial, mas tem seu destaque pode ser curto e facilmente computável.

Problemas de maximização podem ser vistos sob o seguinte olhar:

$$\max(f(x)) = \min(-1 * f(x)) \quad (1.11)$$

Que com isto podem ser otimizados pelo Método de Newton também.

O movimento de x_k dentro da sequência, é determinado pela relação das quantidades e propriedades que tanto a primeira quanto a segunda derivada oferecem. As quantidades determinam a velocidade do movimento, e os sinais indicam a direção do movimento. De certa forma podemos ver esse movimento da sequência $\{x_k\}$ como instantes do movimento de uma bola numa ladeira, que no começo de sua descida é acelerada, e, conforme chega ao plano no fim da ladeira, começa a reduzir sua velocidade, até supostamente chegar no ponto mais baixo.

1.3 Programando o Método

A forma mais simples e mais útil de implementar o método de Newton é na forma de busca das raízes, que uma vez implementada, só precisamos por como entrada a primeira e a segunda derivada da função que desejamos minimizar, já que o método não precisa saber qual a função de fato. A seguir temos a implementação na linguagem de programação Rust:

Listing 1.1: Implementação do Método de Newton para uma variável em Rust.

```
pub fn newton1x1<F>(funcao_derivada: &F, x: f64) -> (usize, f64)
where
    F: Fn(f64) -> f64,
{
    let mut entrada_atual = x;
    let maximo_iteracoes = 100;

    for iteracao_atual in 1..=maximo_iteracoes {
        let diferenca: f64 =
            funcao_derivada(entrada_atual.clone())
            /
            derive1x1(&funcao_derivada, &entrada_atual);

        println!("diferenca: {}", diferenca);
        entrada_atual -= diferenca;

        if diferenca.abs() < 0.0000001 {
            return (iteracao_atual, entrada_atual);
        }
    }

    return (maximo_iteracoes, entrada_atual);
}
```

Os parametros da função são:

- Uma função $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$
- Uma entrada x sendo o chute inicial do otimo.

A função `derive1x1` é um função que calcula numericamente a derivada da função passada como argumento no ponto também passado como argumento. Esta função é apenas para funções $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ e deve ser escrita pelo usuário como bem entender.

1.4 Otimização de Funções à Várias Variáveis

Capítulo 2

Métodos Clássicos de Otimização

2.1 O Método de Newton

2.2 Outros Métodos

2.3 Programando os Métodos

2.4 O Método de Newton para Várias Variáveis

Capítulo 3

Os Métodos Modernos de Otimização

3.1 Breve Relato Histórico

3.2 Métodos de Um

3.2.1 O Método - Uma breve descrição

3.2.2 Exemplos Aplicações

3.2.3 Possíveis Aplicações

3.3 Métodos de Dois

3.3.1 O Método - Uma breve descrição

3.3.2 Exemplos Aplicações

3.3.3 Possíveis Aplicações

3.4 Um com o outro

Referências Bibliográficas

- [1] *Garcia, Arnaldo. Elementos de Álgebra. Rio de Janeiro. Associação instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada, 2003.*
- [2] *Lima, Elon Lajes Álgebra Linear. 7ª Edição. Rio de Janeiro; IMPA, 2008.*
- [3] *Halmos, Paul R. Espaços Vetoriais de Dimensão Finita. Tradução [de] Guilherme de la Penha. Rio de Janeiro: Campus, 1978.*