

Programação não linear para dimensionamento de biodigestores rurais

João Pedro Mucheroni Covolan
RA: 151022593

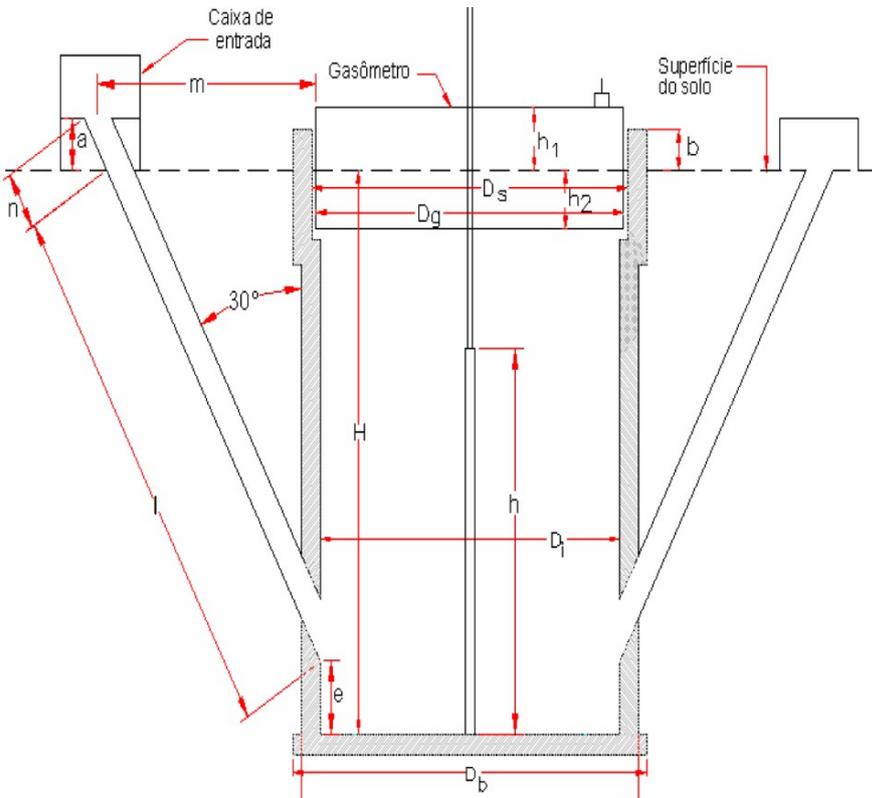
Orientadora: Prof^a Dr^a Márcia Aparecida Zanoli Meira e Silva

Introdução

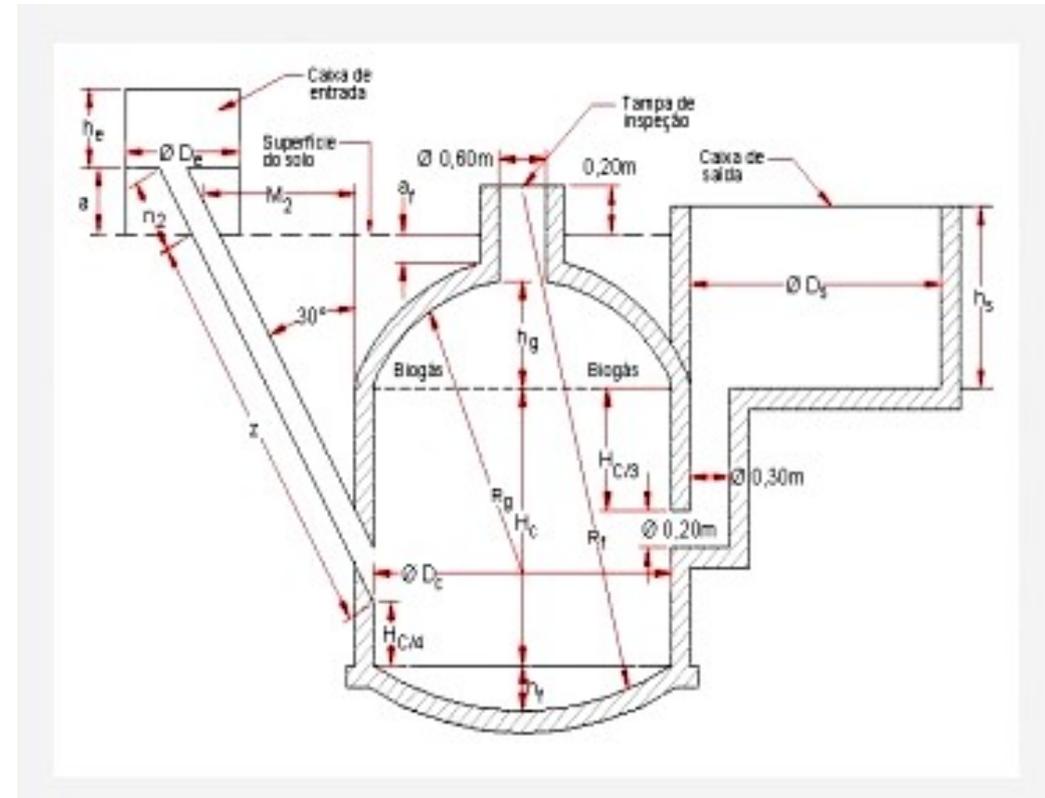
- **Biodigestores**
 - Matéria orgânica → biofertilizante e biogás
- **Contexto brasileiro**
 - Contínuos: indiano e chinês
 - Batelada
- **Ortolani, Benincasa e Junior (1991)**
 - Parâmetros e restrições
 - Demanda energética
 - Tentativa e erro

Introdução

• Indiano

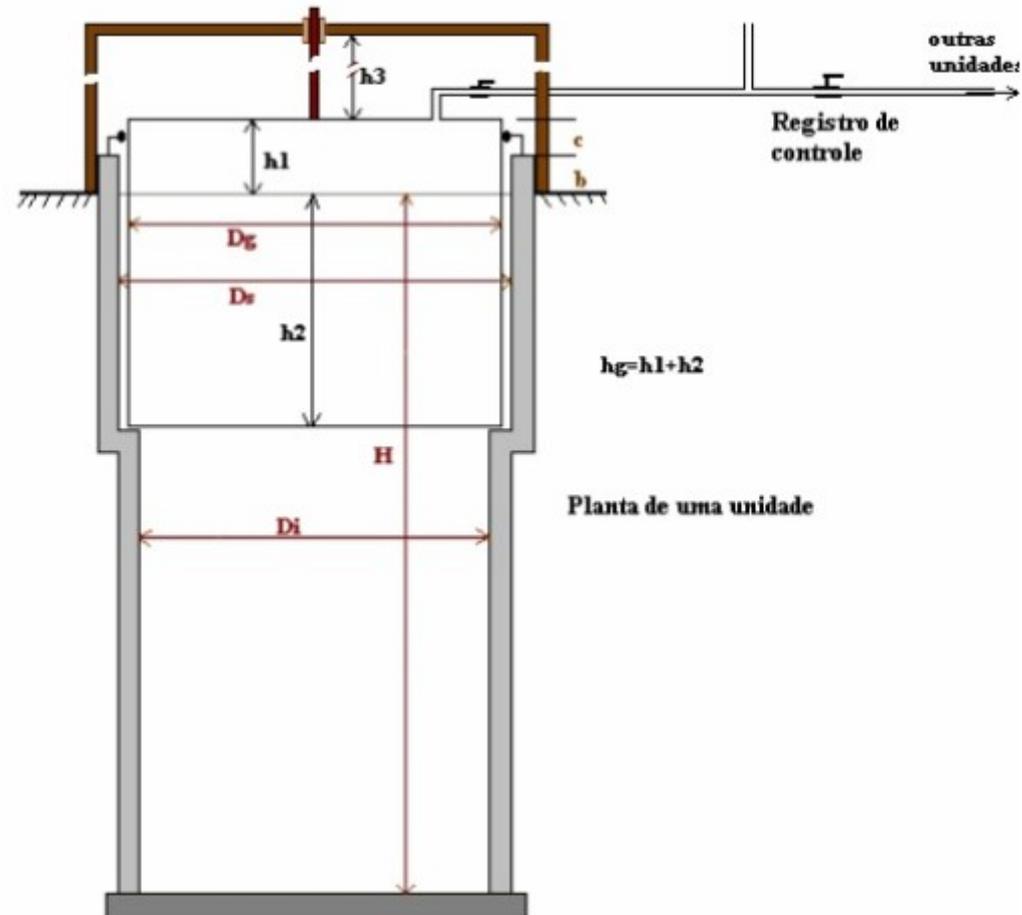


• Chinês



Introdução

- Batelada



Introdução

- **Florentino (2003)**
 - Programação não linear restrita
- **Portes e Florentino (2006)**
 - Resolução com MATLAB
- **Softwares gratuitos, em Java**
 - Programação não linear irrestrita (PDBL e Newton)
 - Massola (2015) – indiano
 - Alvarez (2016) – batelada
 - Souza (2016) – chinês (tentativa e erro)

Introdução

- **Indiano**

$$\underbrace{\text{Minimizar}}_{(D, H)} p D^2 H$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p D^2 H \geq x K B \\ D - H \leq 0 \\ D - 0.6 H \geq 0 \\ 3 \leq H \leq 6 \end{array} \right.$$

- **Chinês**

$$\underbrace{\text{Minimizar}}_{(D, H)} \left(p_1 D^2 H + p_2 D^3 \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 D^2 H + p_2 D^3 \geq K B \\ 0.5 D - H \leq 0 \\ 0.6 D - H \geq 0 \\ D \geq 0 \end{array} \right.$$

Introdução

- **Batelada**

$$\underbrace{\text{Minimizar}}_{(D, H)} p D^2 H$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p D^2 H \geq V D \\ H - D \geq 0 \\ 0.6 H - D \leq 0 \\ 0 < H < 6 \end{array} \right.$$

Introdução

- **Tentativa e erro**
 - Lento
 - Não garante minimização
- **Aplicativo no MATLAB**
 - Pago
- **Softwares em Java**
 - Separados e/ou incompletos
 - Apenas método de Gauss testado na resolução de sistemas lineares

Introdução - Objetivos

- **Construir software único simples e gratuito para o produtor rural**
- **Avaliar possível ganhos de eficiência com decomposição LU e Newton modificado com decomposição LU**

Materiais e métodos

- **Aspectos teóricos**

- Programação não linear
- Método Primal Dual Barreira Logarítmica
- Método de Newton
- Método da eliminação de Gauss
- Decomposição LU
- Newton modificado com decomposição LU (proposto)

Materiais e métodos

- **Ferramentas**

- Java
- NetBeans
- iText PDF

Materiais e métodos

- **Método Primal Dual Barreira Logarítmica**

Minimizar $f(x)$

sujeito a:
$$\begin{cases} g_i(x) = 0 & i = 1, 2, \dots, m < n \\ h_j(x) \geq 0 & j = 1, 2, \dots, p \end{cases}$$

sendo $x \in \mathcal{R}^n$, $g(x) \in \mathcal{R}^m$, $h(x) \in \mathcal{R}^p$ e as funções de classe C^2

Materiais e métodos

- **Método Primal Dual Barreira Logarítmica**

Minimizar $f(x)$

$$\text{sujeito a: } \begin{cases} g_i(x) = 0 & i = 1, \dots, m \\ h_j(x) - s_j = 0 & j = 1, \dots, p \\ s_j \geq 0 \end{cases}$$

sendo $s \in \mathbb{R}^p$

Materiais e métodos

- **Método Primal Dual Barreira Logarítmica**

Minimizar $f(x) - \mu \sum_{j=1}^p \ln(s_j)$

sujeito a:
$$\begin{cases} g_i(x) = 0 & i = 1, \dots, m \\ h_j(x) - s_j = 0 & j = 1, \dots, p \end{cases}$$

Materiais e métodos

- **Método Primal Dual Barreira Logarítmica**

$$L = f(x) - \mu \sum_{j=1}^p \ln(s_j) - \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(x) - \sum_{j=1}^p \pi_j [h_j(x) - s_j]$$

Onde λ_i e π_j são os multiplicadores de Lagrange

Materiais e métodos

- **Método de Newton**

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k - \mathbf{H}_f^{-1}(\mathbf{x}_k) \nabla f(\mathbf{x}_k)$$

$$\mathbf{H}_f(\mathbf{x}_k) \delta_k = -\nabla f(\mathbf{x}_k)$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + \delta_k$$

Materiais e métodos - Sistema Linear

- **Representação matricial**

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ & & & \vdots & \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}, \text{ onde } A \in \mathbb{R}^{m \times n}, x \in \mathbb{R}^n \text{ e } b \in \mathbb{R}^m.$$

Materiais e métodos - eliminação de Gauss

- **Representação matricial**
 - Matriz triangular superior

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n-1} & a_{1n} \\ 0 & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n-1} & a_{2n} \\ 0 & 0 & a_{33} & \cdots & a_{3n-1} & a_{3n} \\ \vdots & & & \ddots & & \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

Materiais e métodos - eliminação de Gauss

- **Pivotamento parcial**
 - Pivô é o maior elemento da coluna
- **Sem troca de linhas**
 - As linhas não são efetivamente trocadas
 - A troca é representada por um vetor de apontadores

Materiais e métodos - decomposição LU

- **Matriz A decomposta nas matrizes L e U ($A = L \cdot U$)**
 - L: matriz triangular inferior
 - U: matriz triangular superior

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix}, L = \begin{pmatrix} l_{11} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ l_{21} & l_{22} & 0 & \cdots & 0 \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} & \cdots & l_{nn} \end{pmatrix}, U = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & \cdots & u_{1n} \\ 0 & u_{22} & u_{23} & \cdots & u_{2n} \\ 0 & 0 & u_{33} & \cdots & u_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & u_{nn} \end{pmatrix}$$

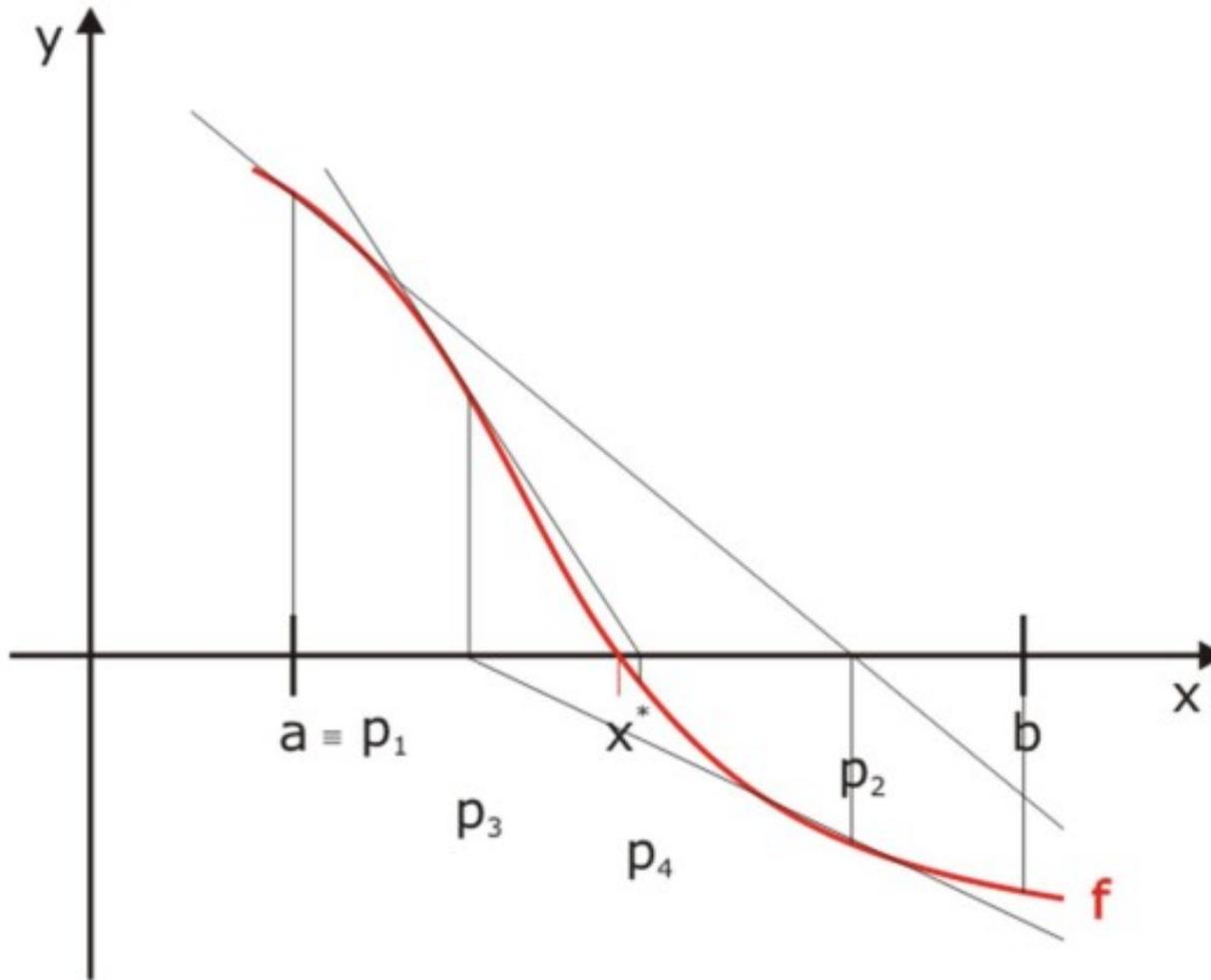
Materiais e métodos - decomposição LU

- Resolver a equação $L \cdot U \cdot x = b$
- Sendo $y = U \cdot x$
- Resolver $L \cdot y = b$
- Conhecendo y , resolver $U \cdot x = y$

Materiais e métodos - Newton modificado com decomposição LU

- **Aproveitar as propriedades do método da decomposição LU**
- **Análogo ao método de Newton modificado para raízes de funções e otimização monovariável**

Método de Newton - raízes de funções de uma variável



Materiais e métodos - Newton modificado com decomposição LU

- **Usar a mesma decomposição da matriz A (Hessiana) para vários vetores b (gradiente) por n iterações**
- **Calcula-se menos vezes a matriz hessiana**
- **Calcula-se menos decomposições**

Materiais e métodos - Ferramentas

- **Java**
 - Orientação a objetos
 - Multiplataforma
- **NetBeans**
 - Integração com Java
 - Projetos anteriores
- **iText PDF**
 - Bibliotecas Java
 - Gerar PDFs dinamicamente

Software - Entrada

Ajuda

Dados

Tipo de biodigestor: Batelada

Número de pessoas que irão cozinhar: 8 PUF [dias]: 150

Número de lampiões: 4 PEP [dias]: 105

Tempo [horas] de uso dos lampiões: 4 Sólidos totais [%]: 85.5

Número de pessoas que usarão o chuveiro: 14 Sólidos totais final: 8

Frequência [dias] de retirada dos resíduos: 65 Rendimento [m³/kg]: 0.15

Pressão máxima [m.c.a] = 0.2

Executar Fechar Informar horários: Horários de uso dos equipamentos

Informar pico de consumo [m³]: 10

Exemplo

Motores

Quantidade: 0

Potência (HP)	Horas de uso
---------------	--------------

Software - Entrada

Digite as informações de uso de equipamentos em diferentes intervalos de tempo

Horario inicio (h)	Horario fim (h)	Motores em uso	Chuveiros em u...	Lampiões acesos	Fogões em uso
22	5	0	0	0	0
5	6	1	0	2	1
6	9	0	0	0	0
9	12	0	0	0	1
12	17	0	0	0	0
17	19	0	5	6	1
19	22	0	0	8	0

+1 linha

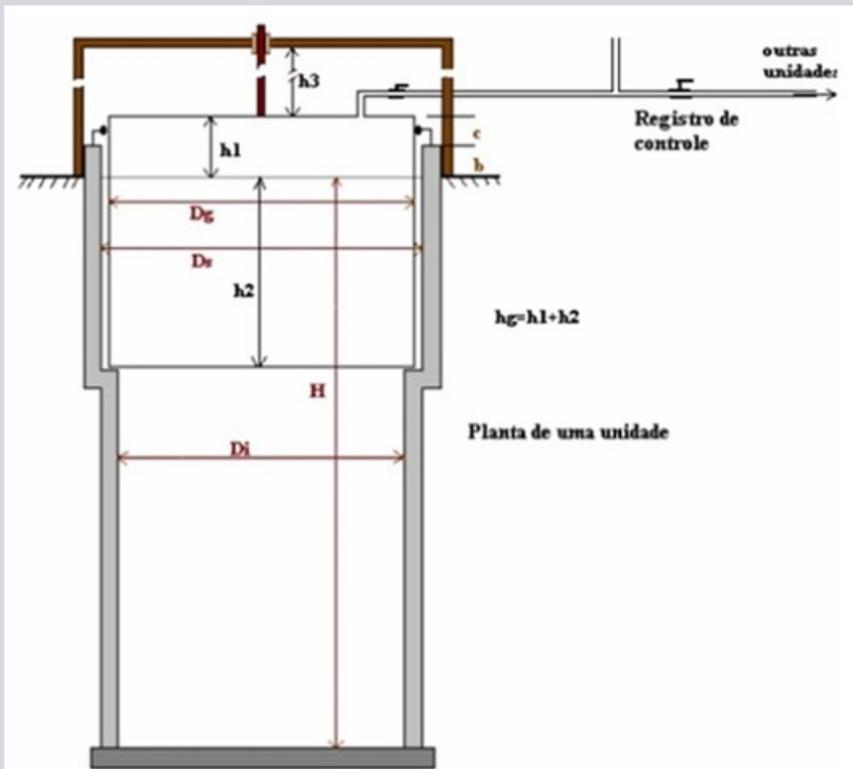
-1 linha

Confirmar dados

Exemplo

Software - Saída

Informações para montagem do Biodigestor



Diâmetro interno do biodigestor (D_i):	3,8542 m
Altura do nível do substrato (H):	4,8093 m
Volume útil da unidade biodigestoras (V_d):	56,1095 m ³
Número de unidades da bateria (N):	3,0000
Altura da parede acima do nível do substrato (b):	0,2000 m
Altura do gasômetro acima da parede do biodigestor (c):	0,1000 m
Diâmetro do gasômetro (D_g):	3,9542 m
Altura ociosa do gasômetro (h_1):	0,3000 m
Altura útil do gasômetro (h_2):	0,4072 m
Altura do gasômetro (h_g):	0,7072 m
Altura livre para deslocamento do gasômetro (h_3):	0,4872 m
Volume ocioso do gasômetro (V_1):	3,6840 m ³
Volume útil do gasômetro (V_2):	5,0000 m ³
Volume do gasômetro (V_g):	8,6840 m ³
Diâmetro Interno da parede superior (D_s):	4,0542 m
Água a ser adicionada ao substrato (A):	50,8594 m ³

PDF

3D

Voltar

Software - Saída

Informações para construção do biodigestor batelada

Figura - representação esquemática do biodigestor

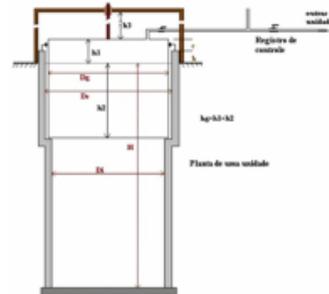


Tabela - Parâmetros e valores

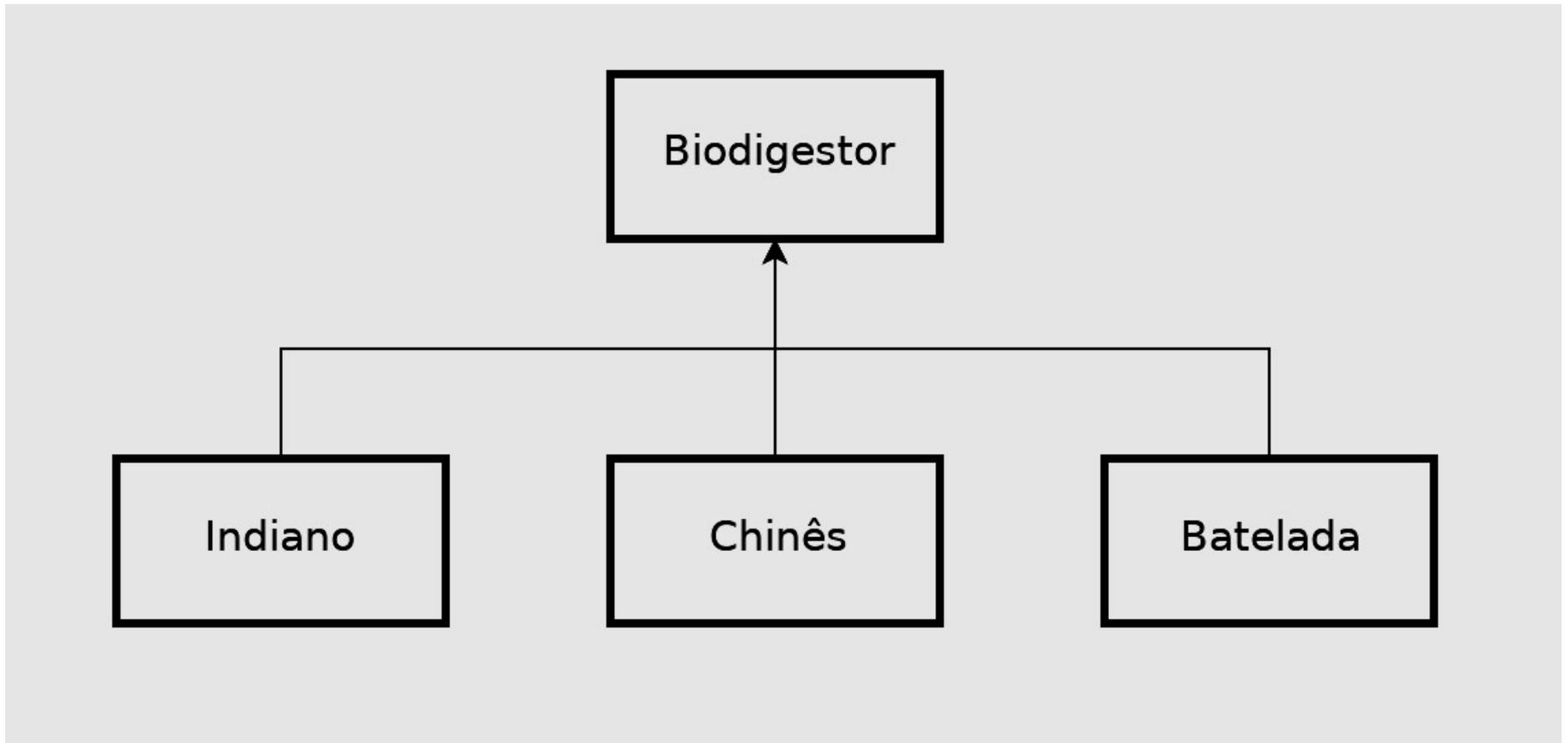
Parâmetros	Valores
Diâmetro interno do biodigestor (Di):	3,8542 m
Altura do nível do substrato (H):	4,8093 m
Volume útil da unidade de biodigestoras (Vd):	56,1095 m ³
Número de unidades da bateria (N):	3,0000
Altura da parede acima do nível do substrato (b):	0,2000 m
Altura do gasômetro acima da parede do biodigestor (c):	0,1000 m
Diâmetro do gasômetro (Dg):	3,9542 m
Altura ociosa do gasômetro (h1):	0,3000 m
Altura útil do gasômetro (h2):	0,4072 m
Altura do gasômetro (hg):	0,7072 m
Altura livre para deslocamento do gasômetro (h3):	0,4872 m
Volume ocioso do gasômetro (V1):	3,6840 m ³
Volume útil do gasômetro (V2):	5,0000 m ³
Volume do gasômetro (Vg):	8,6840 m ³
Diâmetro interno da parede superior (Ds):	4,0542 m
Água a ser adicionada ao substrato (A):	50,8594 m ³

Resultados

- **Parâmetros calculados (volume)**
 - Chinês: 24,925 m³
 - Ortolani (1991): 25,033 m³
 - Florentino (2003): 25,007 m³
 - Souza (2016): 24,929 m³

Resultados

- **Implementação**



Resultados

- **Implementação**
 - Biodigestor abstrato
 - Nome
 - Imagem
 - Função objetivo
 - Restrições
 - Parâmetros

Resultados

- **Comparação entre os métodos**
 - Tempo de execução em milissegundos
 - Exemplos da literatura (ORTONALNI, 1991)
 - **Vermelho:** fora da normalidade
 - **Verde:** melhores tempos
 - **Azul:** melhor média

Resultados

	Indiano	Chinês	Batelada
GPP	21	39	6138
DLU(1)	24	43	142
DLU(2)	19	50	50
DLU(3)	15	72	28
DLU(4)	5979	26	5
DLU(5)	180	74	7
DLU(6)	62	131	41
DLU(7)	12	30	10
DLU(8)	14	34	8
DLU(9)	130	55	313
DLU(10)	11	66	38

Considerações finais

- **Software único, gratuito e de código aberto para os três modelos**
- **Facilitada modificação e expansão**
- **Newton modificado com LU: funcional e resultados positivos**

Referências

- **ALVAREZ, I. L. *Software para construção de biodigestores do modelo batelada*. 2016. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação), Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Bauru.**
- **BAZARAA, M. S.; SHERALI, H. D.; SHETTY, C. M. *Nonlinear programming: theory and algorithms*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2006.**
- **BENINCASA, M.; ORTOLANI, A. F.; JUNIOR, J. L. Biodigestores convencionais. *Jaboticabal, FUNEP*, 1991.**
- **DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. *Java: Como Programar*, 6a. Edição. [S.l.]: São Paulo: Prentice Hall, 2010.**
- **FLORENTINO, H. d. O. Mathematical tool to size rural digesters. *Scientia Agricola*, SciELO Brasil, v. 60, n. 1, p. 185-190, 2003.**
- **FRANCO, N. B. *Cálculo numérico*. [S.l.]: Pearson, 2006.**

Referências

- **MASSOLA, W. C.** *Uso da programação não linear para o dimensionamento de biodigestores indianos*. 2015. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação), Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Bauru.
- **ORACLE.** *NetBeans IDE 8.0.2 Information*. 2018. Disponível em: <<https://netbeans.org/community/releases/80/>>. Acesso em 20 de março de 2018.
- **ORTOLANI, A. F.; BENINCASA, M.; JUNIOR, J. L.** Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada. *Jaboticabal, FUNEP*, 1991.
- **PORTES, Z. A.; FLORENTINO, H. d. O.** Aplicativo computacional para projetos e construções de biodigestores rurais. *Energia na Agricultura*, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), v. 21, n. 1, p. 118-138, 2006.
- **SOUZA, M. B. de.** Desenvolvimento de um software para dimensionamento de biodigestores do modelo chinês. In: *Congresso de iniciação científica da UNESP*. [S.l.: s.n.], 2016. A ser disponibilizado em: <http://prope.unesp.br/cic_isbn/>.