

COMPARISON BETWEEN DIFFERENTIAL EVOLUTION AND SIMULATED ANNEALING ALGORITHMS APPLIED TO THE CONSTRUCTAL DESIGN OF THE DOUBLE-T SHAPED CAVITIES

G. V. Gonzales, L. A. Isoldi, L. A. O. Rocha, E. D. dos Santos e
A. J. Silva Neto

Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional - FURG

Outubro de 2018



INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro

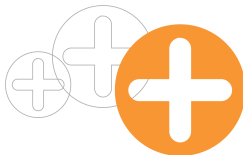


UFPA
Universidade Federal
do Pará



UESB
Universidade Estadual
do Sudoeste da Bahia





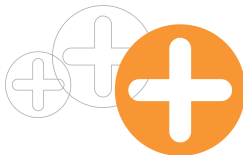
- 1 Introdução
 - Motivação e Objetivos
 - Breve Estado da Arte
- 2 Modelagem Matemática e Numérica
- 3 Otimização
 - Design Construtal
 - Configuração dos Algoritmos
- 4 Resultados
- 5 Conclusão
- 6 Referências
- 7 Agradecimentos



INTRODUÇÃO: MOTIVAÇÃO

s Com a miniaturização dos circuitos eletrônicos e desenvolvimento de dispositivos cada vez mais compactos, técnicas tradicionais de troca térmica por convecção forçada não são mais suportadas. Alternativas apontam para cavidades ou caminhos com material de alta condutibilidade.





XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



INTRODUÇÃO: OBJETIVOS

- Otimizar parcialmente uma cavidade em forma de Duplo-T;
- Comparar os resultados de duas meta-heurísticas aplicadas ao problema
- Analisar diferentes parâmetros de cada algoritmo;
- Avaliar estatisticamente as diferenças entre os resultados da reprodução dos efeitos dos graus de liberdade sobre a geometria ótima e a temperatura máxima minimizada;
- Recomendar não só o algoritmo mas também a configuração de parâmetros mais adequada ao problema de otimização;

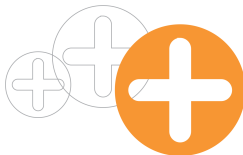


INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro





XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



INTRODUÇÃO: BREVE ESTADO DA ARTE

- Cavidade em formato de "C" e "T" em Biserni et. al. (2004).
- Cavidade em forma de "H" em Biserni et. al. (2007).
- Cavidade em forma de "Y" em (Lorenzini et. al. (2011).
- Cavidade em forma de "Y" aplicação do Algoritmo Genético em Lorenzini et. al. (2014).
- Comparação entre aplicação do SA com GA na otimização da cavidade em forma de Y em Gonzales et. al. (2015a).
- Otimização parcial até 3 graus de liberdade da cavidade em duplo-T em Gonzales et. al. (2015b).

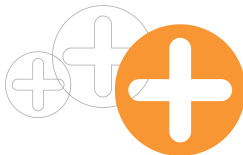


INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro





XXI ENMC
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX ECTM
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



MODELAGEM MATEMÁTICA E NUMÉRICA

Hipóteses Simplificativas:

1. Regime Permanente
2. Geração uniforme de calor
3. Condutividade térmica constante
4. Domínio bidimensional

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + q''' = \rho C_p \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{q'''}{k} = 0 \quad (2)$$



INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU

MODELAGEM MATEMÁTICA

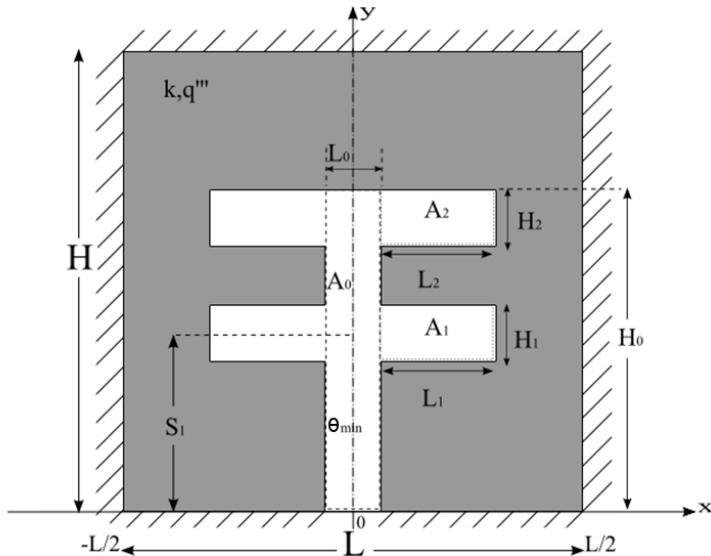
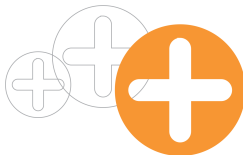


Figura: Domínio Computacional da Cavity em Forma de Duplo-T.



XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



MODELAGEM MATEMÁTICA E NUMÉRICA

Restrições:

$$A = HL \quad (3)$$

$$A_c = A_0 + 2A_1 + 2A_2 \quad (4)$$

$$\phi_c = A_c/A \quad (5)$$



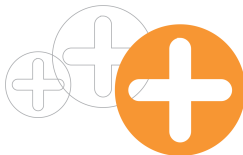
INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU



XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



Adimensionalização do Problema:

(6)

$$\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{H}_0, \tilde{H}_1, \tilde{H}_2, \tilde{L}_0, \tilde{L}_1, \tilde{L}_2, \tilde{H}, \tilde{L}, \tilde{S}_1 = \frac{x, y, H_0, H_1, H_2, L_0, L_1, L_2, H, L, S_1}{A^{1/2}}$$

(7)

$$\frac{\partial^2 \tilde{\theta}}{\partial \tilde{x}^2} + \frac{\partial^2 \tilde{\theta}}{\partial \tilde{y}^2} + 1 = 0$$

(8)

$$\tilde{\theta}_{max} = \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{q''' \cdot \frac{A}{k}}$$

(9)



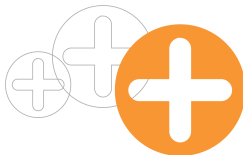
INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU



XXI ENMC
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX ECTM
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



MODELAGEM MATEMÁTICA E NUMÉRICA

A função representada pela Eq. 9 é resolvida numericamente através da resolução da Eq. 8 para a determinação dos os campos de temperatura em todo o domínio computacional para diferentes configurações de $(H, L, H_0, L_0, H_1, L_1, H_2, L_2$ e $S_1)$ e calculando o $\tilde{\theta}_{max}$ para minimizar o seu valor através da variação da configuração geométrica.

A solução numérica é dada pela aplicação do método de Elementos Finitos (FEM), baseado em elementos triangulares, desenvolvido no ambiente MATLAB[®], com o pacote PDE (partial-differential-equations) toolbox.

A malha utilizada é não-uniforme em ambos eixos x e y , e varia de uma geometria para outra. O tamanho é de 80649 mil elementos.



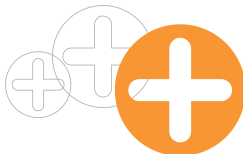
INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU



XXI ENMC
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX ECTM
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



OTIMIZAÇÃO

A metodologia de otimização aplicada neste trabalho utiliza-se do método Constructal Design associado as meta-heurísticas Differential Evolution (DE) e Simulated Annealing (SA).

- **Constructal Desing:** para definição dos objetivos, restrições, Graus de Liberdade (GL) e espaço de busca.
- **Algoritmos de Otimização:** neste trabalho aplicamos os algoritmos DE e SA para a obtenção das geometrias ótimas.
- **Comparação dos Resultados:** São utilizados os valores de média entre 30 execuções de cada algoritmo e comparados com os melhores resultados encontrados entre todas as rodadas.



INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



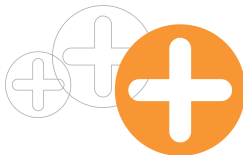
IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



UESC



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU



CONSTRUCTAL DESIGN

Definição dos Graus de Liberdade e Restrições:

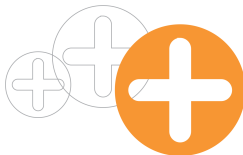
- Nove variáveis (H , L , H_0 , L_0 , H_1 , L_1 , H_2 , L_2 e S_1);
- Quatro restrições (A, A_c, A_1 e A_2);

$$\phi_c = A_c/A = \tilde{H}_0 \tilde{L}_0 + 2\phi_1 + 2\phi_2 \quad (10)$$

$$\phi_1 = \tilde{H}_1 \tilde{L}_1 \quad (11)$$

$$\phi_2 = \tilde{H}_2 \tilde{L}_2 \quad (12)$$

- Temos cinco Graus de liberdade (H/L , H_0/L_0 , H_1/L_1 , H_2/L_2 e S_1/H_0) para o fechamento das equações;



XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



CONSTRUCTAL DESIGN

- Durante o processo de otimização, foram mantidos constantes os valores das restrições ($\phi_c = 0.1$, $\phi_1 = \phi_2 = 0.015$)
- O grau de liberdade H/L foi variado entre $0.3 \leq H/L \leq 30$
- Foram variados os graus de liberdade: H_0/L_0 , H_1/L_1 , H_2/L_2 e S_1/H_0 .



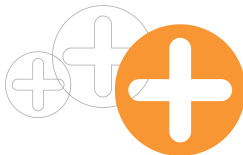
INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



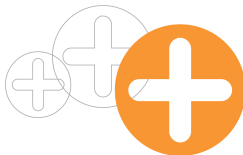
BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU



CONFIGURAÇÃO DOS ALGORITMOS

Tabela: Versões do Algoritmo Differential Evolution.

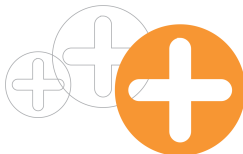
	DE1	DE2	DE3	DE4
Amplificação F	1,5	2,0	1,5	2,0
Cruzamento	0,7	0,9	0,7	0,9
Mutação	rand/1/bin	rand/1/bin	best/2/bin	best/2/bin
Iter. H_0/L_0	150	-	-	-
Iter H/L	300	-	-	-



CONFIGURAÇÃO DOS ALGORITMOS

Tabela: Versões do Algoritmo Simulated Annealing.

	SAEX	SABO	SABE	SAC1	SAC2
C. Schedule	Exponencial	Boltz	BoltzExp	ConstExp1	ConstExp2
Iter. H_0/L_0	150	-	-	-	-
Iter H/L	300	-	-	-	-



XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



RESULTADOS

Primeiramente serão apresentados os resultados da otimização de 4 GLs, com o efeito de h_0/l_0 sobre a geometria ótima ($h_1/l_1, h_2/l_2$ e s_1/h_0) e temperatura máxima em excesso três vezes minimizada (t_{max})^{3m}. Foram investigados valores de h_0/l_0 no intervalo de 0 a 25, onde para cada valor foram executadas 30 rodadas de cada algoritmo.



INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU

RESULTADOS

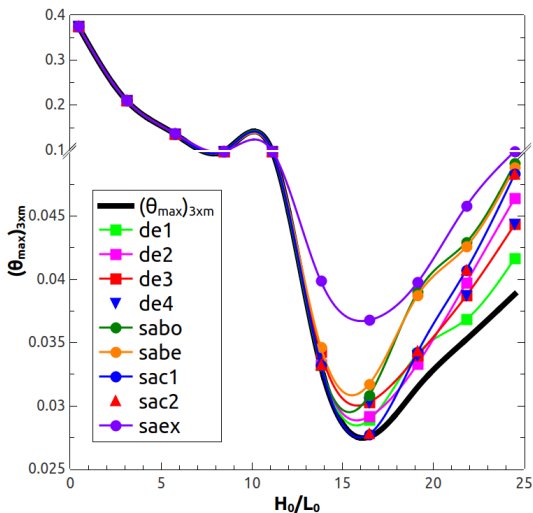


Figura: Efeito de H_0/L_0 sobre $(\tilde{\theta}_{\max})_{3 \times m}$ obtidos por cada versão dos algoritmos DE e SA.

RESULTADOS

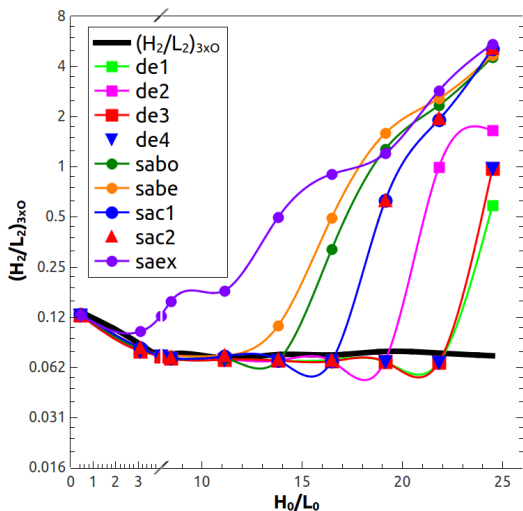


Figura: Efeito de H_0/L_0 sobre $(H_2/L_2)_{3 \times 0}$ obtidos por cada versão dos algoritmos DE e SA.

RESULTADOS

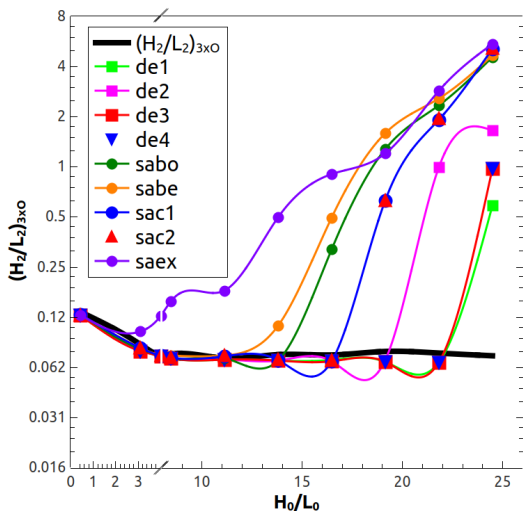


Figura: Efeito de H_0/L_0 sobre $(H_2/L_2)_{3 \times 0}$ obtidos por cada versão dos algoritmos DE e SA.

RESULTADOS

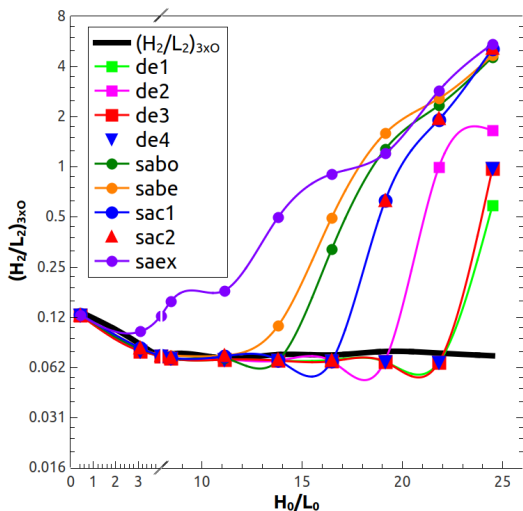


Figura: Efeito de H_0/L_0 sobre $(H_2/L_2)_{3 \times 0}$ obtidos por cada versão dos algoritmos DE e SA.

RESULTADOS

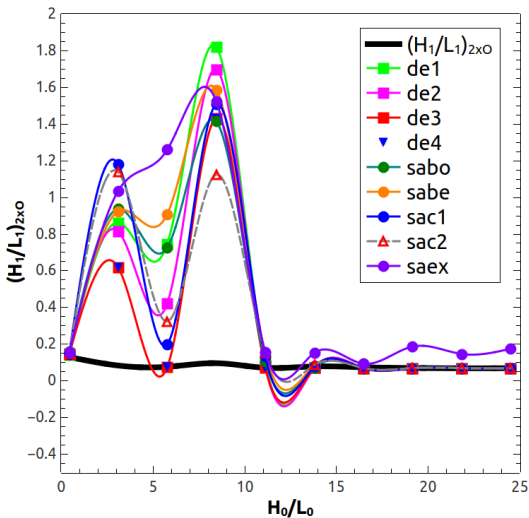


Figura: Efeito de H_0/L_0 sobre $(H_1/L_2)_{2 \times 0}$ obtidos por cada versão dos algoritmos DE e SA.

RESULTADOS

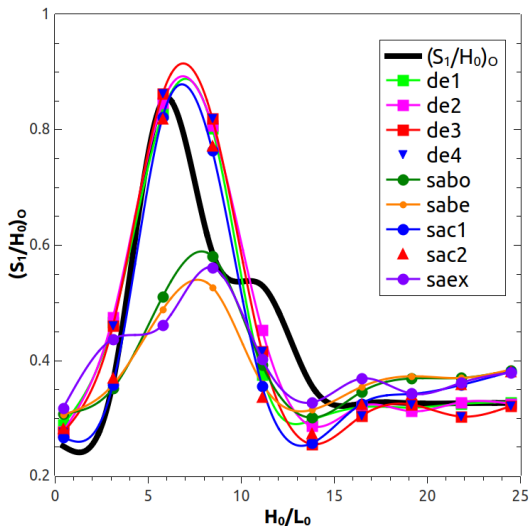
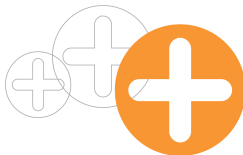


Figura: Efeito de H_0/L_0 sobre $(S_1/H_0)_o$ obtidos por cada versão dos algoritmos DE e SA.



XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



Conclusão

Conclusão...



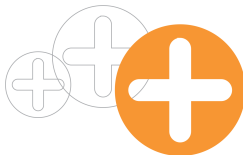
INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU



XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



Referências



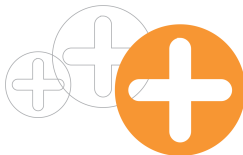
INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU



XXI **ENMC**
ENCONTRO NACIONAL DE
MODELAGEM COMPUTACIONAL

IX **ECTM**
ENCONTRO DE CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS



Agradecimentos

Agradecimentos...



INSTITUTO FEDERAL
Fluminense



IPRJ
Universidade do Estado
do Rio de Janeiro



BÚZIOS
CONVENTION
& VISITORS BUREAU