

DIMENSIONAMENTO DE PERFIS JOUKOWSKI UTILIZANDO PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Autor: Daniel Richter Reimer

Contato: daniel.reimer@gmail.com

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Agência: SAE/Unicamp

Palavras-Chave: Particle Swarm Optimization – Perfis de Joukowski – Otimização de Perfis

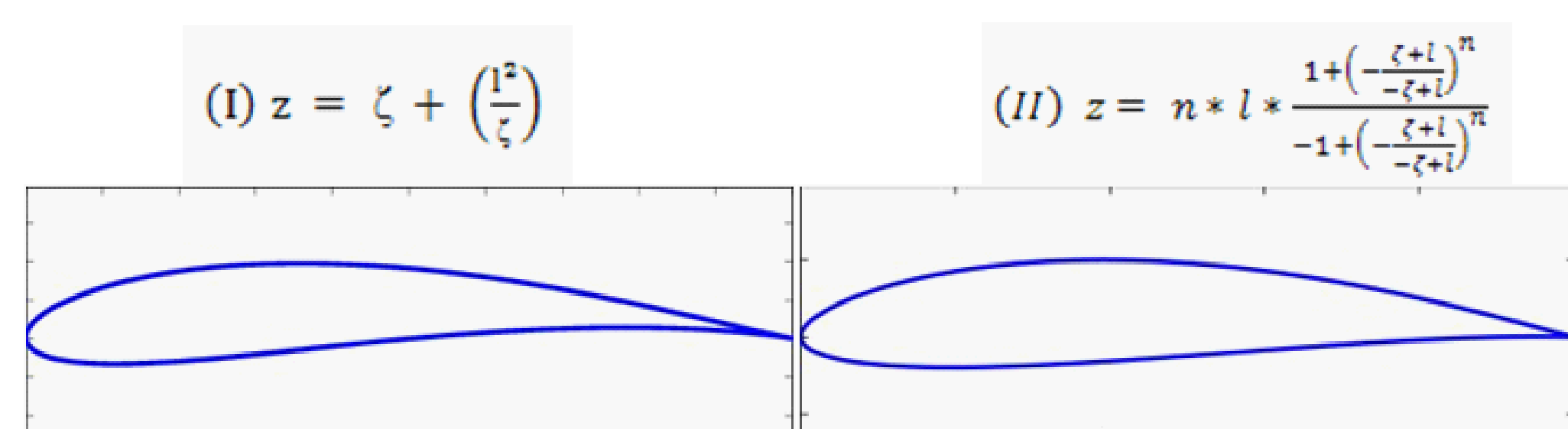
Introdução

Existem diversos métodos para escolha e projeto de superfícies aerodinâmicas, dependendo do critério a ser adotado. As aeronaves em geral tem como prioridade economia, razão de carga útil/peso vazio e podem ser acrescentadas limitações em faixas de operação, razões de subida, planeio, curva e etc. Isso leva a uma preocupação crescente com otimização de desempenho e um dos elementos principais nesse processo é o perfil aerodinâmico, seja de asa ou empenagens.

Metodologia

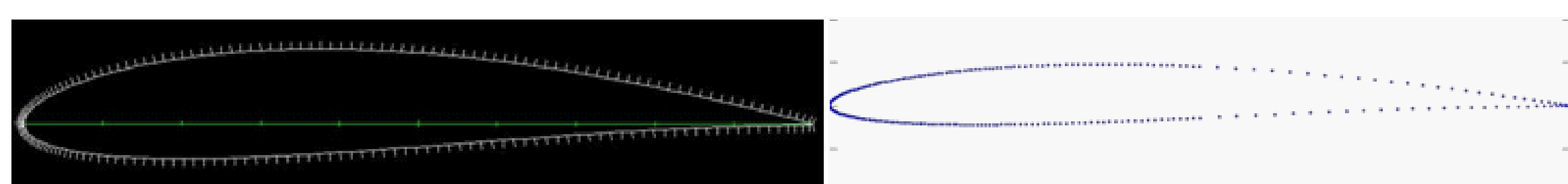
O processo consiste na definição de algumas etapas, sendo as principais representadas na figura abaixo. Para verificar se o processo é eficiente, foram escolhidos dois perfis base, o Clark Y pela sua alta aplicação até os dias atuais e o NACA0012 por ser um perfil simétrico facilmente aplicável em projeto de empenagens verticais.

Para manipular os pontos, é preciso estabelecer um método de parametrização dos mesmos. A proposta deste trabalho é verificar a aplicabilidade da transformada Joukowski em projetos atuais. Duas formas básicas da transformada foram propostas. A segunda (Kármán-Trefftz) foi adotada por prover um bordo de fuga com espessura finita, possibilitando a implementação em um perfil físico real sem problemas estruturais nessa região.



Para verificar o desempenho de cada perfil, é necessário adotar um solver aerodinâmico. Como isso fugiria do propósito do trabalho, descartou-se a hipótese de realizar uma implementação dessa etapa. Foi utilizado o XFOil pela confiabilidade adquirida ao longo dos anos em sua análise por método de painéis e pela facilidade de introdução da ferramenta em um contexto semi-automático, por meio de arquivos de input/output e scripts para batch.

A malha de painéis foi determinada de acordo com as recomendações de utilização do software e os pontos da parametrização foram definidos buscando atender um refinamento maior no bordo de ataque, região com sensibilidade maior a pequenas variações geométricas.



É necessário agora definir o método de convergir para um resultado ideal. Como o relevo de um hiperespaço de busca desse tipo de problema é altamente multimodal e com diversas limitações devido a geometria do perfil, um algoritmo de gradiente ou simplex poderia levar facilmente a resultados sub-ótimos. Foram investigados alguns métodos e ganharam destaque os algoritmos ligados a computação evolutiva, principalmente os algoritmos genéticos (GA) e o Particle Swarm Optimization (PSO). O último foi escolhido devido a sua tendência de maior rapidez de convergência. O PSO se baseia em uma evolução através de uma inteligência coletiva, nascida da interação entre um enxame de partículas, guiadas pela velocidade atual, pelos resultados anteriores e pelos resultados dos vizinhos mais próximos.

$$v_i = k_1 * rand * v_{i-1} + k_2 * rand * (p_{atual} - p_{best}) + k_3 * rand * (p_{atual} - n_{best})$$

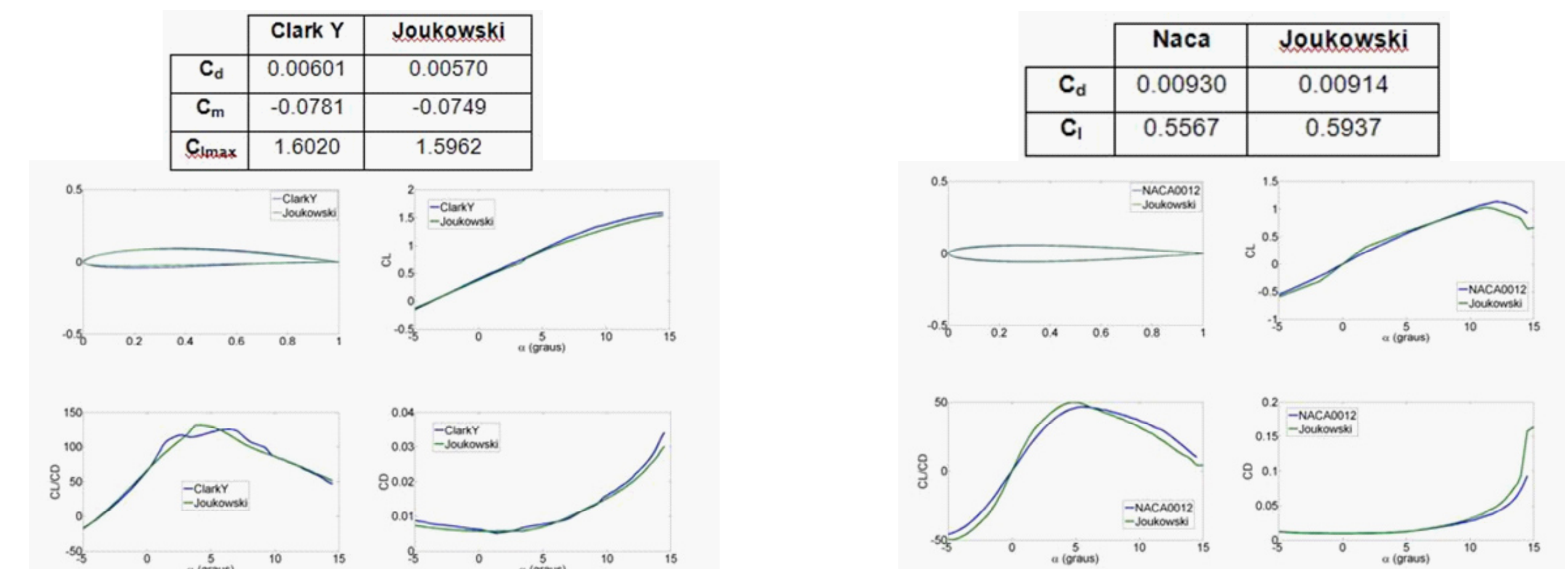
Para reduzir a tendência do PSO de possibilitar resultados sub-ótimos, foram testadas algumas modificações. Para sistemas teste, foi escolhido um conjunto de equações buscando sua minimização. O algoritmo final apresenta elementos de sociometria dinâmica e substituição adaptativa. O primeiro constitui uma mudança no número de vizinhos de acordo com o andamento da otimização e o segundo, uma substituição de partículas que estagnaram em determinado local.

Função	Equação
f1 (Giunta)	$f(x) = \sum_{i=1}^n \sin\left(\frac{16}{i^2} x_i - 1\right) + \sin^2\left(\frac{16}{i^2} x_i - 1\right) + \frac{1}{50} \sin\left[40\left(\frac{16}{i^2} x_i - 1\right)\right] + \frac{3}{100}$
f2 (Rastigrin)	$f(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10]$
f3 (Rosenbrock)	$f(x) = \sum_{i=1}^n [100(y_i - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$
f4 (Griewank)	$f(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n (x_i - 100)^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i - 100}{\sqrt{i}}\right) + 1$

Função	PSO	ASPSO	AMPSO	DSPSO	Final
f1 ($\times 10^{-4}$)	0.0442	0.9001	0.8547	0.2565	0.1699
f2	7.2264	1.8497	5.6715	4.7931	2.7079
f3	11.687	5.3102	13.260	11.472	7.0547
f4 ($\times 10^{-3}$)	0.0073	0.7485	0.2574	0.1028	0.5763

Resultados e Conclusões

O algoritmo foi testado nos perfis Clark Y e NACA0012. No primeiro, buscou-se um aumento de CLmax e redução de Cm e Cd. No segundo, redução de Cd e aumento da derivada de Cl pelo ângulo de ataque. O método de pontuação foi utilizar o Cd como pontuação primária, adicionando bonificações lineares caso os objetivos sejam atendidos e penalidades quadráticas caso não o sejam. Chegou-se a resultados que demonstram um certo potencial desse tipo de parametrização, mas que está longe de ser o alcançado por métodos mais elaborados.



Algumas dificuldades encontradas se referem a incapacidade da parametrização gerar certas geometrias, principalmente na região do bordo de ataque. Todavia, é uma ferramenta que pode ser utilizada em projetos preliminares ou que demandem menos tempo hábil para a definição de perfis. Para um projeto mais refinado, sugere-se a utilização de uma parametrização por Parsec ou curvas de Bezier. Porém, o método de otimização utilizado se mostrou muito adequado e eficiente, podendo ser utilizado em diversas aplicações com hiperespaço de busca irregular e limitado.

Referências Bibliográficas

- [1] MILNE-THOMSON, L. M. *Theoretical Aerodynamics*. 4 ed. New York: Dover Publications, 1973.
- [2] ABBOTT, I. H. *Theory of Wing Sections*. 3 ed. New York: Dover Publications, 1975.
- [3] DRELA, M. e YOUNGREN, H. *XFOil 6.9 User's Guide*. Disponível em: <http://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil>. Acesso em: 7 out. 2008.
- [4] EBERHEART, R. C. e KENNEDY, J. *Swarm Intelligence*. 1 ed. San Diego: Elsevier, 2001.
- [5] PANDA, S. e PADHY, N. P. Comparison of Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm for TCSC-based Controller Design. In: *International Journal of Computer Science and Engineering*. [s.n.] Inverno, 2007.
- [6] XIE, Xiao-Feng, ZHANG, Wen-Jun e YANG, Zhi-Lian. Adaptive Particle Swarm Optimization on Individual Level. In: *International Conference on Signal Processing*. [s.n.] China, 2002.
- [7] PANT, M, THANGARAJ, R. e ABRAHAM, A. Particle Swarm Optimization Using Adaptive Mutation. In: *Proceedings of the 2008 19th International Conference on Database and Expert Systems Applications*. [s.n.] Washington, 2008. p. 519-523.
- [8] RICHARDS, M. e VENTURA, D. Dynamic Sociometry in Particle Swarm Optimization. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing*. [s.n.] North Carolina, 2003. p. 1557-1560.
- [9] FAA Federal Aviation Regulation Part 25.
- [10] SOBIECZKY, H. Parametric Airfoils and Wings. In: *Notes on Numerical Fluid Mechanics*. [S.l.: s.n., s.d.], v. 68, p. 71-78.
- [11] BELLODI, G. C. *Projeto e Dimensionamento de uma Asa para a Aeronave Conquest 180*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.