

---

# CONCLUSÕES

---

O principal objetivo desse estudo foi alcançado, ou seja, desenvolveu-se e implementou-se uma formulação para análises de problemas tridimensionais de interação fluido-estrutura, que contempla uma técnica de partição de domínios, para a consideração de efeitos localizados, a qual permite o uso combinado de aproximações por elementos finitos clássicos e análise isogeométrica na discretização do problema.

Para isso, conforme pode ser visto no Cap. ?? e no Cap. ??, optou-se por uma formulação Arbitrária Euleriana-Lagrangiana (ALE) para a descrição de escoamentos incompressíveis isotérmicos e com contornos móveis tridimensionais. Nesse modelo adotado para o fluido, o domínio e as variáveis de interesse, podem ser discretizados tanto por elementos finitos clássicos, quanto através da análise isogeométrica fazendo-se o uso funções base NURBS. Para tratar questões numéricas recorrentes nesse sistema de equações, como as oscilações espúrias em casos de convecção dominante, típicas da aplicação do método dos resíduos ponderados baseado na formulação clássica de Galerkin, empregou-se a metodologia SUPG. Adicionalmente, a estabilização PSPG é aplicada com o objetivo de contornar a condição imposta pelo critério de *Ladyzhenskaya-Babuška-Brezzi* (LBB). A integração no tempo na formulação é conduzida por meio do método  $\alpha$ -generalizado. Do ponto de vista computacional, partiu-se de um código baseado em elementos finitos clássicos bidimensionais e expandiu-se-o para que o mesmo contemplasse uma análise tridimensional e permitisse o uso da IGA.

No que diz respeito a metodologia adotada para a análise das estruturas, conforme foi observado no Cap. ??, adotou-se uma formulação não-linear geométrica dinâmica baseada em uma descrição Lagrangiana Total. A formulação é baseada no método dos elementos finitos com abordagem posicional, onde as variáveis principais são as posições nodais. Além disso, optou-se por trabalhar com elementos de cascas e a integração temporal utilizada é realizada através do método de Newmark. Ressalta-se que no

aspecto computacional a formulação já estava totalmente implementada. Entretanto, fez-se necessário um profundo conhecimento das técnicas aplicadas e do código, para que se pudesse posteriormente realizar a integração com o programa da DFC, buscando atingir o objetivo de analisar problemas de interação fluido-estrutura.

Com relação a técnica de partição de domínios para as análises da DFC, realizou-se inicialmente o estudo e implementação da formulação apresentada no Cap. ??, a qual permite utilizar uma malha local mais refinada sobreposta a uma malha global com discretização mais grosseira. A junção entre as discretizações ocorre em uma área de sobreposição, na qual as funções base de cada uma das discretizações são ponderadas e somadas de forma a garantirem a partição da unidade e formarem uma nova base linearmente independente. Embora a técnica apresente características muito promissoras, no âmbito da DFC, com emprego das metodologias SUPG e PSPG, um estudo mais aprofundado deve ser ainda realizado para que os parâmetros de estabilização sejam adequadamente calculados na zona de sobreposição. Nesse estudo, observaram-se problemas de convergência para alguns dos problemas analisados.

Nesse contexto, para garantir o desenvolvimento do código com uma técnica de partição de domínios, optou-se pela utilização do método Arlequin, o qual também leva em conta efeitos localizados através do uso de um modelo local mais refinado superposto a um modelo global com discretização mais grosseira. No método Arlequin, no entanto, o processo de união entre as discretizações, é realizado através do cruzamento e colagem entre os modelos em uma zona de colagem através da utilização de um operador de acoplamento. Do ponto de vista computacional, a utilização do Método Arlequin, acarretou na implementação de rotinas adicionais para o reconhecimento dos elementos em zona de colagem e para a obtenção do valor da função ponderadora para os nós e pontos de integração que compõem as malhas, além de rotinas de cálculo de matrizes e vetores respectivos aos operadores de Lagrange.

- Implementação da técnica de partição de domínios no código de dinâmica dos fluidos computacional contemplando problemas da DFC com contornos móveis;
- Estudo aprofundado de um código pré-desenvolvido de análise não-linear geométrica de estruturas de cascas utilizando o MEF posicional;
- Acoplamento entre os códigos computacionais da DFC e de sólido através do emprego de uma técnica particionada do tipo bloco-iterativa;
- Validação dos códigos computacionais através da simulação de problemas da dinâmica dos fluidos, dinâmica das estruturas e problemas IFE.