



Ruben Gómez Díaz

**Um Sistema para Geração de Modelos
Parametrizados em Projetos de Estruturas
Flutuantes**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Engenharia Mecânica

Orientador : Prof. Marcelo de Andrade Dreux
Co-Orientador: Prof. Luiz Cristovão Gomes Coelho

Rio de Janeiro
Julho de 2009



Ruben Gómez Díaz

**Um Sistema para Geração de Modelos
Parametrizados em Projetos de Estruturas
Flutuantes**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção Do título de Doutor em Engenharia Mecânica. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marcelo de Andrade Dreux

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica — PUC-Rio

Prof. Luiz Cristovão Gomes Coelho

Co-Orientador

Tecgraf

Prof. Luiz Fernando Campos Ramos Martha

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Prof. Mauro Costa de Oliveira

PETROBRAS

Prof. Bruno Feijó

Departamento de Informática - PUC-Rio

Prof. Luiz Eduardo Azambuja Sauerbronn

Departamento de Expressão Gráfica- UFRJ

Prof. José Eugênio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico — PUC-Rio

Rio de Janeiro, 01 de Julho de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Ruben Gómez Díaz

Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Federal de Uberlândia - UFU, com ênfase em Engenharia de *Software*. Especializou-se em Redes de Computadores também na Universidade Federal de Uberlândia. Durante o Mestrado foi bolsista do CNPq. Desenvolveu com seus orientadores durante o Mestrado uma extensão do algoritmo de compressão *EdgeBreaker* para superfícies compostas por triângulos e/ou quadrângulos, com ou sem gênero.

Ficha Catalográfica

Gómez Díaz, Ruben

Um Sistema para Geração de Modelos Parametrizados em Projetos de Estruturas Flutuantes / Ruben Gómez Díaz; orientador: Marcelo de Andrade Dreux; co-orientador: Luiz Cristovão Gomes Coelho. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Mecânica, 2009.

v., 129 f: il. ; 29,7 cm

1. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Mecânica – Tese. 2. Modelagem Geométrica. 3. Unidades Flutuantes. 4. Carregamento Automático. 5. Geometria Computacional. 6. Simplificação e Geração de Malhas. 7. Lua. I. Dreux, Marcelo de Andrade. II. Coelho, Luiz Cristovão Gomes. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDD: 621

Agradeço primeiramente à Deus, e aos meus amados pais Gábino Gómez e Máxima Díaz e meu irmão Yno pelo apoio incondicional, confiança e por estarem sempre presentes na minha vida. Obrigado por tudo.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Marcelo de Andrade Dreux pelo seu apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Luiz Cristovão Gomes Coelho pelo apoio constante, sugestões e críticas no desenvolvimento dos algoritmos computacionais apresentados neste trabalho.

Aos professores integrantes da comissão examinadora.

Ao CNPq e à universidade PUC-Rio, pelos auxílios concedidos sem os quais não teria sido possível desenvolver este trabalho.

Ao Tecgraf pelo espaço cedido e a oportunidade de realizar este projeto.

Aos meus amigos e funcionários do Tecgraf pela amizade, ajuda e apoio.

Ao Antônio Sérgio Nascimento e Bruno Kassar pela implementação do diagrama de estabilidade, e implementação de um novo algoritmo para geração de superfícies interpoladas por N curvas, sem o qual parte deste trabalho não seria possível.

Ao Eduardo Pasquetti pela sua amizade e sugestões.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica.

Resumo

Gómez Díaz, Ruben; Dreux, Marcelo de Andrade; Coelho, Luiz Cristovão Gomes. **Um Sistema para Geração de Modelos Parametrizados em Projetos de Estruturas Flutuantes**. Rio de Janeiro, 2009. 129p. Tese de Doutorado — Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este trabalho situa-se numa das linhas de pesquisa da PUC-Rio de projeto de unidades flutuantes tais como, navios e plataformas semi-submersíveis. Nesta linha de pesquisa estão sendo desenvolvidos os programas gráficos MG (Mesh Generator) e o Sstab. O primeiro programa é um modelador geométrico por meio de seções transversais e gerador de malhas para modelos de estruturas flutuantes. O segundo programa é utilizado para a análise de estabilidade estática dos modelos gerados pelo MG. Este trabalho propõe um ambiente integrado de modelagem e de análise estática e dinâmica de estruturas flutuantes. O principal diferencial deste ambiente está no fato de possibilitar a geração automática de variantes de um determinado modelo padrão, a fim de atingir uma configuração desejada, seja no aspecto geométrico ou com relação a sua estabilidade estática. Este ambiente faz uso da linguagem Lua e é possível definir variáveis globais para serem utilizadas como parâmetros de modelagem que extraem, ou modificam, dados como comprimento, largura, altura etc. É possível parametrizar um modelo qualquer, em função de variáveis escolhidas pelo usuário, o que possibilita uma modelagem automática, com a variação de alguns destes parâmetros. Foram ainda desenvolvidas algumas ferramentas auxiliares que facilitam a modelagem de uma estrutura flutuante. Estas ferramentas verificam a consistência topológica de uma malha, gerar uma subdivisão gradativa das curvas cortadas e simplificar as novas malhas geradas. É possível também detectar se o modelo possui simetria num determinado plano e realizar, de forma automática, cortes do modelo final para diferentes calados.

Palavras-chave

Modelagem Geométrica. Unidades Flutuantes. Carregamento Automático. Geometria Computacional. Simplificação e Geração de Malhas. Lua.

Abstract

Gómez Díaz, Ruben; Dreux, Marcelo de Andrade (Adviser); Coelho, Luiz Cristovão Gomes. **A System for Generation of Parameterized Models for Vessel's Design**. Rio de Janeiro, 2009. 129p. DSc Thesis — Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro.

This work is related to the PUC-Rio research area of vessel's designs such as ships and semi-sub platforms. In this research area two softwares have been developed: MG and Sstab. The first is a geometric modeler based on cross sections and also on a mesh generator; the second is a software for the analysis of static and dynamic stability of MG models. This work proposes an integrated environment for modeling, and static and dynamic analysis of vessels. The main advantage of the proposed environment is that it is possible to obtain automatically variants of a specific model in order to achieve a desired configuration, not only in relation to geometry but also concerning the static stability aspect. This environment uses the Lua programming language and it is possible to define global variables to be used as parameters which retrieve or modify modeling values such as length, width, height, and so on. Any model can be parameterized, as a function of user chosen variables, which allows an automatic modeling with the variation of those parameters. There has been also developed some auxiliary tools which help the modeling of floating structures. Those tools verify the topological consistency of a mesh, generate a gradual subdivision of intersected curves and simplify the new generated meshes. They are also able to detect if the model has symmetry in relation to a certain plane, and sections can be automatically obtained according to different draughts.

Keywords

Geometric Modeling. Vessel Stability. Automatic Loading. Computational Geometry. Mesh Generation and Simplification. Lua.

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Tipos de Plataformas Petrolíferas	15
1.2	Exemplos de Metodologia de Projeto de Estruturas Flutuantes	18
1.3	Trabalhos Correlatos	21
1.4	Objetivos	24
1.5	Organização da tese	27
2	Projeto de Estruturas Flutuantes	28
2.1	Processo Usual de Projeto	29
2.2	Processo de Projeto Paramétrico	31
2.3	Definições e Nomenclaturas Utilizados	32
2.4	Representação de Modelos Navais	35
2.5	Segurança Marítima	38
3	Integração da Modelagem Paramétrica no MG	40
3.1	Modelagem por <i>Scripts</i>	41
3.2	Linguagens de Extensão	42
3.3	Linguagem Lua	43
3.4	Ambiente de Programação	44
3.5	Comandos de Modelagem Baseados em Históricos	46
3.6	Comandos de Modelagem Baseados em <i>Scripts</i>	46
3.7	Exemplos de Uso dos Comandos de Modelagem	47
3.7.1	Vantagens da Modelagem em Lua	51
4	Estudo de Casos	53
4.1	Parametrização Automática da Forma de um Navio	53
4.2	Análise de Estabilidade com Relação à Forma do Modelo	58
4.2.1	Condição Inicial de Avaria	60
4.2.2	Varição Automática da Forma do FPSO	62
4.2.3	Estimativa de Pesos do Navio FPSO	64
4.2.4	Resultados Obtidos	67
5	Conclusão e Trabalhos Futuros	72
5.1	Contribuições Principais	73
5.2	Contribuições Secundárias	74
5.3	Trabalhos Futuros	75
	Referências Bibliográficas	77
A	Comandos de Modelagem Baseados em Histórico	82
A.1	Comandos de geração de vértices e curvas	82
A.2	Comandos de seleção e edição	83
A.3	Comandos de geração e manipulação de superfícies e volumes	85
A.4	Comandos geração de wizards	86
A.5	Comandos de transformações afins	87

A.6	Comandos de entrada e saída de dados	88
A.7	Comandos de transformações do plano de interface	89
B	Comandos de Modelagem Baseados em <i>Script</i>	90
B.1	Comando para gerar vértices	90
B.2	Comando para gerar curvas	91
B.3	Comando para gerar superfície	92
B.4	Comando para gerar volume	93
C	Geração de Malhas	94
C.1	Geração de malhas no MG	94
C.2	Geração de malhas no Sstab	98
C.2.1	Resultados de Geração de Malhas	101
C.3	Pós-processamento das Malhas Geradas	107
C.4	Composição de Volumes	113
D	Simplificação de Malhas	117
D.1	Simplificação de Malhas Utilizando a Estrutura de Semi-Arestas	118
D.2	Construção das Semi-Arestas	119
D.3	Processo de Simplificação	120
D.4	Resultados de modelos navais com a simplificação proposta	122

Lista de figuras

1.1	Sonda de Perfuração.	15
1.2	Tipos de plataformas [Neto07].	16
1.3	Plataformas de petróleo: a) Torre Complacente b) TLP(Fonte:Offshore Technology).	17
1.4	Plataformas tipo Spar Buoy (Fonte:Offshore Technology).	17
1.5	Plano de balizas.	19
1.6	Espiral de projeto [Evans59].	19
1.7	Trinômio Síntese, Análise e Avaliação [Watson76].	20
1.8	Framework de Modelagem.	26
2.1	Processo de Projeto Usual (sentido horário) vs Processo de Projeto Paramétrico (sentido anti-horário).	32
2.2	Seções de uma estrutura flutuante [Alves06].	33
2.3	Graus de liberdade de uma unidade flutuante [Alves06].	34
2.4	Inclinações de banda e trim [Alves06].	35
2.5	Linhas de desenho do casco de um navio [Fonseca05].	36
2.6	Vista 1 dos Parâmetros principais da geometria de um casco [Bole06].	37
2.7	Vista 2 dos Parâmetros principais da geometria de um casco [Bole06].	37
3.1	Modelo geométrico de um navio.	41
3.2	Interface MG com linha de comandos.	44
3.3	Resultado do script de modelagem 1.	47
3.4	Modelo escalado em XYZ.	48
3.5	Interface para Escala utilizando variáveis.	49
3.6	Sobrecarga de parâmetros das classes <i>mgVertex</i> e <i>mgCurve</i> .	49
3.7	Translação de vértices.	50
3.8	Spline com formato helicoidal.	50
3.9	Geração de superfície com a classe <i>mgSurface</i> .	51
4.1	Dimensões iniciais do FPSO.	53
4.2	Casco externo de um navio modificado pela função <i>TransformShip</i> .	57
4.3	Casco de um navio modelado por superfícies <i>coons</i> e <i>skinned</i> .	58
4.4	Critério de estabilidade em avaria.	59
4.5	Condição avariada do navio FPSO cuja boca é 56 metros.	60
4.6	Diagrama da estabilidade da FPSO cuja boca é 56 metros.	61
4.7	Tabela do diagrama de estabilidade do navio FPSO cuja boca é 56 metros.	62
4.8	Condição avariada do navio FPSO com boca de 58.5 metros.	69
4.9	Diagrama da estabilidade da FPSO com boca de 58.5 metros.	69
4.10	Tabela do diagrama de estabilidade do navio FPSO com boca de 58.5 metros.	70
4.11	Gráfico da variação da faixa de estabilidade com relação à boca da FPSO.	71
5.1	Processo de otimização.	75

C.1	Interface do Gerador de malhas para o Wamit no MG.	95
C.2	<i>Loops</i> de curvas cortadas numa superfície.	96
C.3	Problema na geração das subdivisões das curvas cortadas.	96
C.4	Geração das subdivisões das curvas respeitando o critério de curvatura.	97
C.5	Interface do Gerador de Malhas para o Wamit no Sstab.	98
C.6	Classificação de faces no Sstab.	99
C.7	Orientação da fronteira de uma superfície com furo no Sstab.	100
C.8	Corte e geração de malhas num navio.	101
C.9	Corte e geração de malhas em um dos planos de simetria do modelo.	101
C.10	Gradação de malha de 1 para 4 da parte simétrica do navio.	102
C.11	Gradação de malha de 4 para 4 da parte simétrica do navio.	102
C.12	Gradação de malha de 1 para 7 da parte simétrica do navio.	103
C.13	Plataforma cortada com gradação de 1 para 1.	103
C.14	Plataforma cortada com gradação de 4 para 4.	104
C.15	Malha gerada no Sstab do corte do modelo simplificado mostrado na figura D.12.	105
C.16	Malha gerada no Sstab do corte do modelo simplificado mostrado na figura D.12, vista do plano XY.	105
C.17	Malha gerada no Sstab do corte do modelo simplificado mostrado na figura D.10.	106
C.18	Malha gerada com tamanho de painéis de 0.5 para 10.	106
C.19	Malha gerada com tamanho de painéis de 5 para 10.	106
C.20	Malha de fundo de uma superfície [Miranda02].	108
C.21	Malhas com diferentes discretizações.	108
C.22	Plano de balizas de um navio.	109
C.23	Malha seção transversal.	109
C.24	Critério geométricos para avaliação de arestas [Coelho98].	110
C.25	Subdivisão da aresta.	111
C.26	Malha após pós-processamento das faces.	111
C.27	Malha de um navio com efeito de amassamentos.	112
C.28	Malha de um navio sem efeito de amassamentos.	112
C.29	Compartimentos internos de um navio.	113
C.30	Árvore de composição de volumes.	114
C.31	Interface de composição de volumes.	115
C.32	Compartimento interno composto de um navio.	116
D.1	Estrutura de dados topológica.	117
D.2	Simetria de uma unidade flutuante.	118
D.3	Faces de um retalho que potencialmente interceptam uma aresta [Coelho98].	119
D.4	Malha original de um navio.	122
D.5	Malha simplificada de um navio.	123
D.6	Malha original de uma plataforma.	123
D.7	Malha simplificada de uma plataforma.	124
D.8	Compartimento interno de um navio não simétrico ao plano XZ.	124
D.9	Casco de um navio não simétrico ao plano XZ.	125
D.10	Malha original de uma monocoluna.	125
D.11	Malha simplificada de uma monocoluna.	126

D.12 Malha original do casco de uma plataforma.	126
D.13 Malha simplificada do casco de uma plataforma.	127
D.14 Malha simplificada do casco de uma plataforma, vista inferior.	127
D.15 Malha com uma boa variação de curvatura.	128
D.16 Malha simplificada com uma boa variação de curvatura.	128
D.17 Malha com erro de topologia.	129
D.18 Malha com erro de topologia corrigido.	129

Lista de tabelas

4.1	Resultados da variação da boca da FPSO.	68
C.1	Contribuição de volumes após a composição de volume.	116