



IBP1238_06

COEFICIENTES DE MASSA ADICIONAL DE UM MANIFOLD

Fábio P. S. Mineiro¹, Antonio Carlos Fernandes²

Copyright 2006, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*, realizada no período de 11 a 14 de setembro de 2006, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2006*.

Resumo

Cada vez mais há a necessidade de se aumentar a profundidade d'água para a exploração de petróleo. Em virtude disso, as companhias petrolíferas têm enfrentado grandes desafios técnico-científicos, requerendo uma intensa pesquisa tecnológica. A instalação de um *manifold* requer, portanto ainda mais cuidado e pesquisas que venham a determinar com maior precisão as suas propriedades. Um novo método de instalação, denominado pendular, é uma nova metodologia de instalação de *manifolds* em águas profundas, proposta pela PETROBRAS. O novo método tem se mostrado eficaz, mas é necessário conhecer as propriedades hidrodinâmicas do *manifold*, como os coeficientes de massa adicional. Porém, a literatura é incompleta e não apresenta tais coeficientes para geometrias mais complexas como o manifold. O trabalho investiga a influência da porosidade na variação do coeficiente de massa adicional do *manifold*. A determinação dos coeficientes de massa adicional para cada porcentagem de porosidade apresentada é feita considerando todos os seis graus de liberdade do *manifold* como corpo rígido. Para a obtenção dos coeficientes de massa adicional foi utilizado teoria do potencial através do software WAMIT.

Abstract

Even more there is a necessity to increase the depth for petroleum exploration. Because of this, the companies have been facing great techno-scientific challenges, requiring an intense technological research. The installation of a *manifold* requires so more careful and researches to determine with more precision its properties. A new installation method, called PIM (Pendulous Installation Method), consists of a new methodology of *manifold's* installation in deep waters, proposed by PETROBRAS. The new method has been showing good results; however it is necessary to know the hydrodynamic properties of the *manifold*, such as the added mass coefficients. However, the literature is incomplete and do not present these coefficients for more complex geometries like the *manifold*. The work investigates the influence of porosity on the added mass coefficients variation in a *manifold*. The added mass coefficients determination for each percentage of porosity is done considering the six degrees of freedom of the *manifold* as a rigid body. The potential theory was used through the software WAMIT to obtain the added mass coefficients.

¹ Mestre, Engenheiro Naval – COPPE/UFRJ

² PHD, Engenheiro Naval – COPPE/UFRJ

1. Introdução

Cada vez mais há a necessidade de se aumentar a profundidade d'água para a exploração de petróleo. Em virtude disso, as companhias petrolíferas têm enfrentado grandes desafios técnico-científicos, requerendo uma intensa pesquisa tecnológica. A instalação do *manifold*, Figura 1.1, requer, portanto ainda mais cuidado e pesquisas que venham a determinar com maior precisão as suas propriedades. O trabalho apresenta a obtenção dos coeficientes de massa adicional para o *manifold*, fazendo uso da teoria potencial linear através de um programa de estudo do comportamento do navio no mar (sea keeping). Em seguida, é realizado ainda um estudo do efeito da porosidade.



Figura 1.1: *Manifold* típico.

2. Obtenção dos Coeficientes de Massa Adicional pelo Método dos Limites de Frequência de um Programa de Comportamento do Navio no Mar

A dependência da massa adicional de um corpo rígido com a frequência pode ser verificada considerando os limites $\omega \rightarrow 0$ e $\omega \rightarrow \infty$. Nesses casos, a condição de superfície livre, é expressa por:

$$-\frac{\omega^2}{g} \phi_k + \frac{\partial \phi_k}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial \phi_k}{\partial z} = 0 \quad \text{em } Z = 0, \omega \rightarrow 0 \quad (2.2)$$

$$\phi_K = 0 \quad \text{em } Z = 0, \omega \rightarrow \infty \quad (2.3)$$

As Equações (2.2) e (2.3) representam as condições de superfície livre onde as forças gravitacionais predominam sobre as forças inerciais, e vice versa. Estritamente, desde que ω e g são quantidades dimensionais, deve-

se assumir que as Equações (2.2) e (2.3) são válidas respectivamente para os dois valores limites da razão adimensional $\frac{\omega^2 L}{g}$, onde L é comprimento característico do corpo.

A Equação (2.2) é a condição de contorno de uma parede rígida, onde a superfície livre é substituída por um plano horizontal fixo. O problema resultante para cada valor de ϕ_k pode ser resolvido considerando-se o plano horizontal como um espelho: o corpo é refletido assumindo um corpo duplo. A imagem acima do plano $Z = 0$ é um corpo com a mesma forma geométrica, refletida em $Z = 0$. A fase da imagem do corpo deve ser tal que o potencial seja função de Z , e a velocidade normal assuma o mesmo valor dos pontos correspondentes do corpo e sua imagem.

Para movimentos de baixa frequência no plano horizontal (*surge*, *sway* e *yaw*), a imagem do corpo deve mover-se com a mesma fase que o corpo real, como mostrado na Figura 2.1. Neste caso, o corpo soma-se à sua imagem formando um corpo duplo. Os valores limites dos coeficientes de massa adicional correspondentes são:

$$Ca_{ij} = \frac{1}{2} m_{ij} \quad (2.4)$$

Para movimentos de baixa frequência no plano vertical (*heave*, *roll* ou *pitch*), a simetria requer que a fase da imagem do corpo seja oposta a fase do corpo real, Figura 2.2. Neste caso, o modo de movimento corresponde a uma dilação oscilatória do corpo, o corpo pulsa, como uma sanfona.

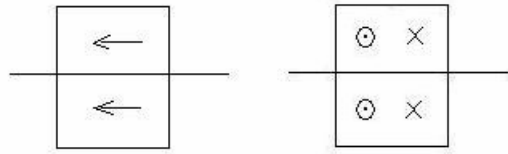


Figura 2.1: Limite de baixa frequência $\omega \rightarrow 0$ para *surge* e *sway*, à esquerda, e para *yaw*, à direita, formação de corpo duplo.

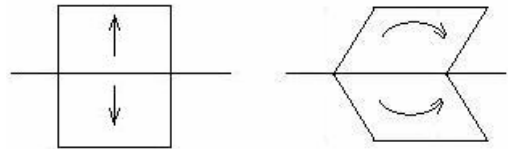


Figura 2.2: Limite de baixa frequência $\omega \rightarrow 0$ para *heave*, à esquerda, e para *roll* ou *pitch*, à direita, corpo pulsando (sanfona).

A situação oposta aplica-se ao limite de alta frequência, Equação (2.3), onde o potencial deve ser trocado em Z , e a assimetria resultante requer que a fase da imagem seja oposta a do corpo, conforme Figuras 2.3 e 2.4. Os modos verticais (*heave*, *roll* ou *pitch*) de movimento correspondem aos de um corpo duplo, Figura 2.4, logo a Equação (2.4) é aplicada. Por outro lado, os modos horizontais (*surge*, *sway* ou *yaw*), Figura (2.3), correspondem a deflexões cisalhantes formando então um corpo cisalhante, Figura 2.2.

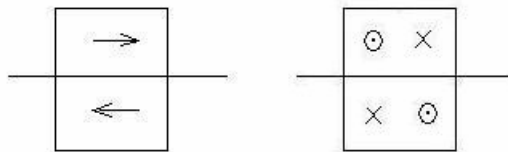


Figura 2.3: Limite de alta frequência $\omega \rightarrow \infty$ para *surge* e *sway*, à esquerda, e para *yaw*, à direita, corpo cisalhante.

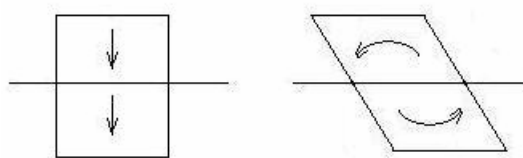


Figura 2.4: Limite de alta frequência $\omega \rightarrow \infty$ para *surge* e *sway*, à esquerda, e para *roll* ou *pitch*, à direita, corpo duplo.

O método dos limites de frequência tem por objetivo obter os valores dos coeficientes de C_a através do programa WAMIT V6.211, fazendo uso da teoria potencial conforme proposto por (Fernandes 2005).

Antes de chegar-se aos valores de C_a do *manifold*, validou-se a metodologia através da obtenção dos coeficientes de massa adicional para diversas formas geométricas lembradas em Newman (1978) e Blevins (1979).

Os cálculos do C_{aj} pelo WAMIT V6.211 podem ser feitos através de dois métodos: *Low Order Panel* e *High Order Panel*.

- *Low Order Panel*: Método geométrico de cálculo do WAMIT V6.211 que utiliza baixa ordem. A geometria do corpo é representada por painéis planos. Para atingir a convergência faz-se um aumento progressivo do número de painéis. Este método é apropriado para corpos com lados e superfície planos, como barras retangulares, navios e plataformas com formas simples.
- *High Order Panel*: Método geométrico do WAMIT V6.211 no qual são utilizadas sub-rotinas com ordem superior, acima de dois. Na maioria dos casos, este é mais eficiente e acurado. Mais precisamente, o método *high order panel* converge mais rápido que o método *low order panel*, quando o número de painéis é aumentado em ambos. A representação geométrica permite formas mais complexas. A entrada de dados geométricos pode ser feita de diversas técnicas incluindo painéis planos, aproximações B-spline, modelos geométricos desenvolvidos no MultiSurf e ainda fórmulas analíticas explícitas.

2.1 Cálculo do C_a de uma Caixa pelo programa WAMIT V6.211

Para o caso de uma caixa (sólido retangular), Blevins (1979) fornece os valores de C_a para *heave*. Para avaliar tanto o limite de baixa frequência quanto o de alta frequência, calculou-se os coeficientes de massa adicional para *heave* e *surge*. Assim, o C_a para *heave* no período tendendo a zero (frequência infinita) de uma caixa de dimensões 40x40x20, por exemplo, coincidem com os valores de C_a em *surge* para período tendendo a infinito, ou seja, frequência zero de uma caixa onde as dimensões são 20x40x40.

As malhas de entrada no WAMIT V6.211, para o caso de *Low Order Panel*, são geradas no programa Mesh Generator (MG 2005).

As razões de b/a , onde b representa a altura e a , o comprimento da caixa, foram variadas e para cada uma, obtido o C_a respectivo.

A seguir são apresentados os dois métodos de cálculo, *Low Order Panel* e *High Order Panel*, respectivamente, para cada razão de b/a da caixa.

➤ Caixa $b/a = 1$

As dimensões da primeira caixa modelada são:

$a = 40$ m

$b = 40$ m

Onde:

a: Comprimento / largura

b: Altura

De modo que a caixa representada é um cubo, e a razão $b/a = 1$.

➤ *Low Order Panel*

Para o primeiro caso da caixa, processado no WAMIT V6.211, foi admitida uma razão $b/a = 1$ com variação progressiva no número de painéis. A Figura 2.1.1 mostra um exemplo de quadrante da malha gerada para a caixa. Foram processados 9 casos, com variação no número de painéis de 12 a 4800. Os resultados estão na Tabela 2.1.1.

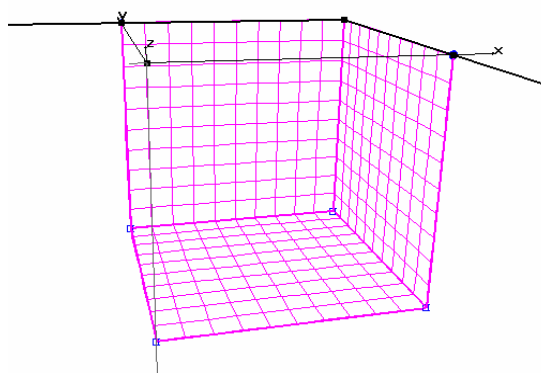


Figura 2.1.1: Quadrante da malha gerada para a caixa no MG (2005), razão $b/a = 1$.

Tabela 2.1.1: Ca para caixa, *low order panel*, nos limites de período nulo ($p = 0$) e período infinito ($p = \infty$).

Nº Painéis	$Ca_{33} (p = 0)$	$Ca_{11} (p = \infty)$
12	0,78	0,78
32	0,72	0,72
48	0,70	0,70
108	0,68	0,68
192	0,67	0,67
300	0,66	0,66
432	0,66	0,66
1200	0,65	0,65
4800	0,64	0,64

Analisando a Tabela 2.1.1, observa-se que os coeficientes de massa adicional em X, Ca_{11} , para período infinito, e em Z, Ca_{33} , para período nulo, são equivalentes. A convergência é atingida em 300 painéis com Ca igual a 0,66, valor próximo de Blevins (1979), $Ca = 0,67$, para o caso do cubo. Nota-se ainda que com um número excessivo de painéis, acima de 1000, há um pequeno decréscimo na convergência.

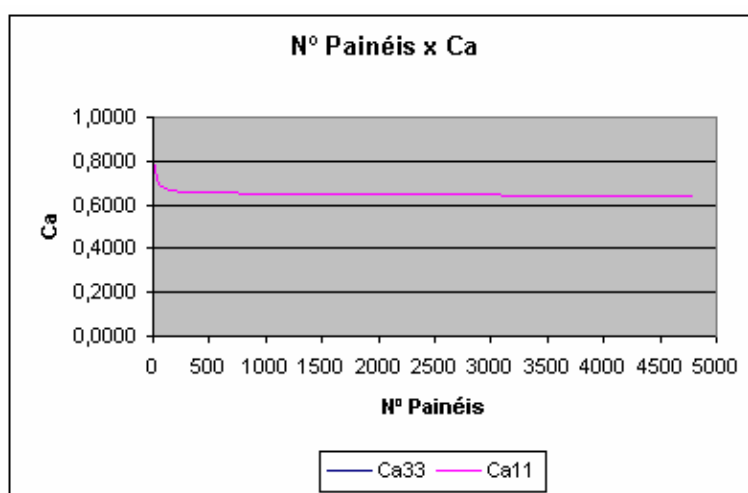


Figura 2.1.2: Variação do Ca com o nº de painéis.

A Figura 2.1.2 mostra a convergência com o aumento do número de painéis e ainda, que a curva em rosa, representando os valores de Ca_{11} , e a curva em azul, que representa os valores para Ca_{33} , sobrepõem-se. O número de painéis recomendado é aproximadamente 300.

➤ *High Order Panel*

Para o método com *High Order Panel*, não há necessidade de gerar uma malha de entrada para o WAMIT V6.211 pois o método utiliza sub-rotinas analíticas internas do programa, devendo-se apenas entrar com as dimensões principais da caixa.

Com o uso do *High Order Panel*, a convergência é atingida de forma mais rápida e os parâmetros a serem variados são: a ordem do polinômio (nota-se que nas tabelas a seguir a ordem do polinômio é acrescida de 1 pois a entrada no WAMIT V6.211 é feita desta forma) e o número de painéis. O número de painéis é proporcional à ordem do polinômio, ou seja, quanto maior a ordem, maior o número de painéis.

Utilizando a mesmas dimensões do *Low Order Panel* com a razão de $b/a = 1$, obtêm-se os valores de Ca na Tabela 2.1.2 e a Figura 2.1.3, mostrando a variação do Ca com a ordem.

Tabela 2.1.2: Resultados de Ca_{33} e Ca_{11} obtidos pelo WAMIT V6.211, nos limites de período nulo ($p = 0$) e período infinito ($p = \infty$).

Ordem +1	Nº Painéis	$Ca_{33} (p = 0)$	$Ca_{11} (p = \infty)$
3	324	0,66	0,66
4	464	0,66	0,66
5	628	0,66	0,66
6	816	0,66	0,66
7	1028	0,66	0,66
8	1264	0,66	0,66
9	1524	0,66	0,66
10	1808	0,67	0,67

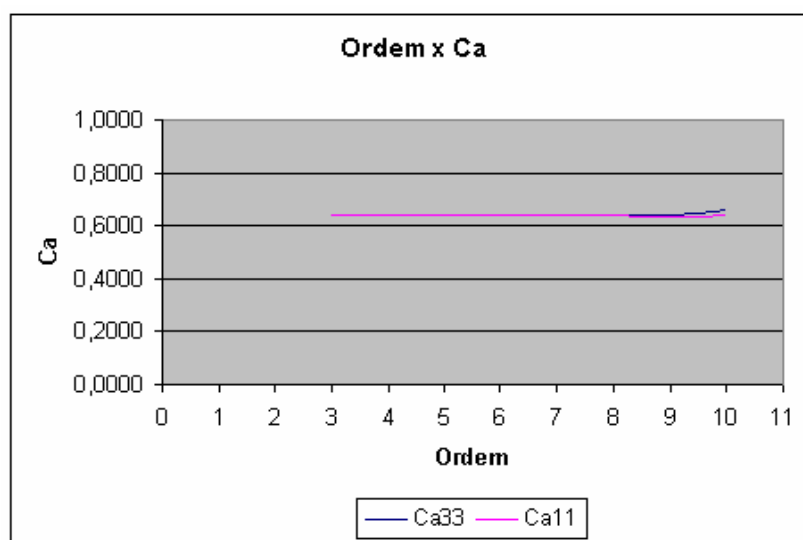


Figura 2.1.3: Variação do Ca com a ordem.

Pela análise da Tabela 2.1.2 e da Figura 2.1.3, verifica-se a equivalência entre os coeficientes Ca_{11} e Ca_{33} . Na Figura 2.1.3 é possível ainda verificar que as curvas dos coeficientes de massa adicional em X e em Z coincidem quase em sua totalidade, até cerca de 1500 painéis, ou ordem 9. A convergência com o método high order panel se dá logo no primeiro processamento, com ordem 2, ou 3 no WAMIT V6.211, e aproximadamente 300 painéis como no método low order panel, porém com muito mais rapidez. O valor de Ca obtido na convergência é de 0,66, conforme a Tabela 2.1.2. Nota-se que a partir da ordem 8, ou 9 no WAMIT V6.211, há um pequeno desvio da convergência.

2.2 Comparação do WAMIT V6.211 com Newman (1978)

Para o elipsóide, foram calculados através do WAMIT V6.211 os coeficientes de massa adicional de *surge*, *sway* e *pitch*, pois a referência literária, Newman (1978), fornece estes coeficientes de massa adicional.

O elipsóide foi modelado no WAMIT V6.211 com um comprimento $2a$ e diâmetro máximo $2b$. A razão b/a foi variada obtendo-se o gráfico da Figura 2.2.1, no qual fica explícito o comportamento dos coeficientes de massa adicional.

O método geométrico utilizado foi o *high order Panel*, tendo em vista que a convergência deste é obtida com maior rapidez e exatidão.

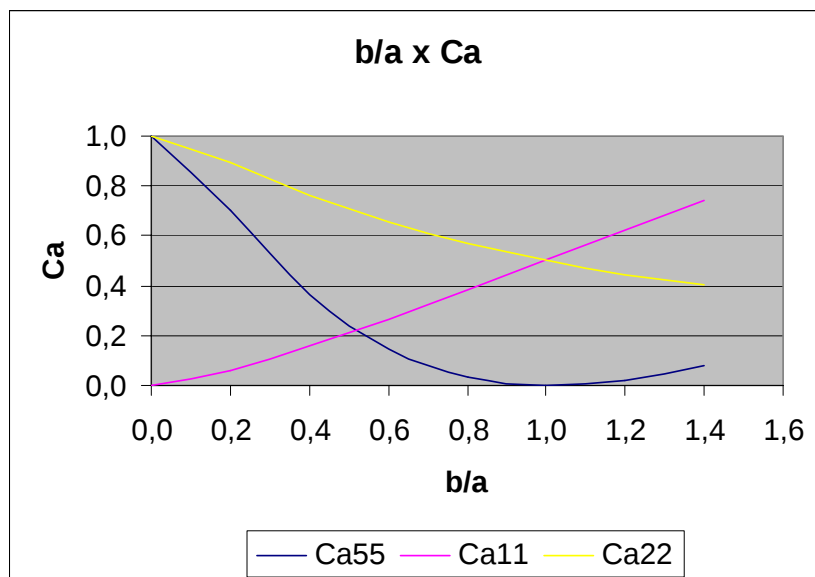


Figura 2.2.1: Variação do Ca com a razão b/a .

A Figura 2.2.1 que contém as curvas de Ca obtidas pelo WAMIT V6.211 coincide com o gráfico da referência literária, Newman (1978), Figura 2.2.2, confirmando-se assim a eficácia dos cálculos realizados pelo programa.

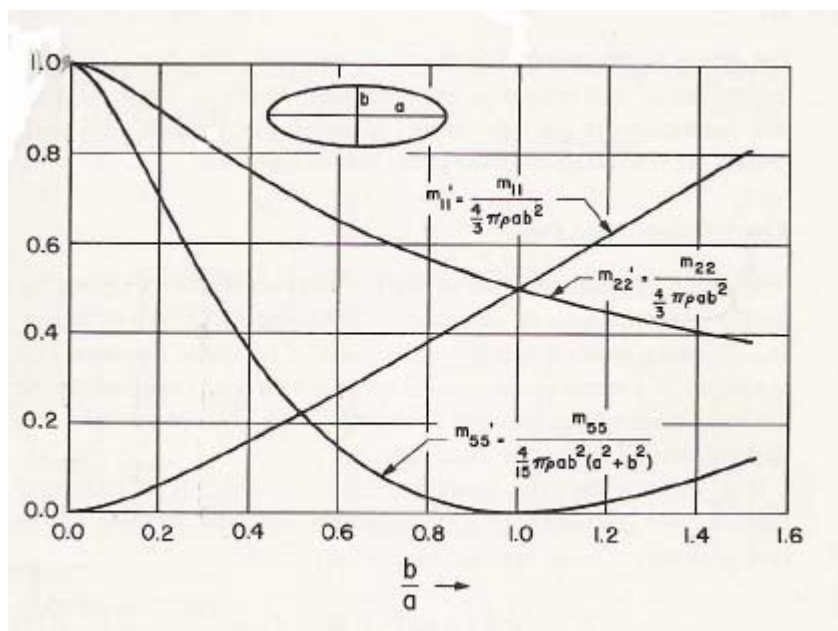


Figura 2.2.2: Ca para um elipsóide dado por Newman (1978).

2.3 Cálculo do Ca para o *Manifold* pelo programa WAMIT V.6.211 e Conclusão

Tendo concluído os cálculos dos coeficientes de massa adicional pelo WAMIT V6.211 e realizado posterior comparação destes com a referência literária, verificando então a validade dos resultados obtidos, processou-se então no WAMIT V6.211 o caso de uma caixa com as dimensões do *manifold*. O método geométrico utilizado foi o *high*

order panel, com ordem igual a 4. As dimensões do *manifold* processado são: L = 16,635 m, B = 8,500 m; H = 5,149 m.

Tabela 2.3.1: Resultados dos Ca para o *manifold*.

Ca11	Ca22	Ca33	Ca44	Ca55	Ca66
1,24	1,64	2,15	0,31	0,32	0,42

2.4 Efeito da Porosidade e Conclusões Finais

Uma sub-rotina interna ao programa WAMIT V6.211 foi desenvolvida em MATLAB para o caso de uma caixa com cilindro circular interno (*moonpool* circular), localizado no seu centro, para estudo da porosidade. A *moonpool* circular é modelada pelo WAMIT V6.211 no eixo horizontal.

Processou-se então a sub-rotina criada para as dimensões do *manifold*: L = 16,635 m; B = 8,500 m; H = 5,149. Foram processados 12 casos variando-se o diâmetro em relação à porcentagem de área total (de 1% a 40%). A Figura 2.4.1 mostra a variação do Ca com a porcentagem de porosidade (área da *moonpool* circular em relação à área total).

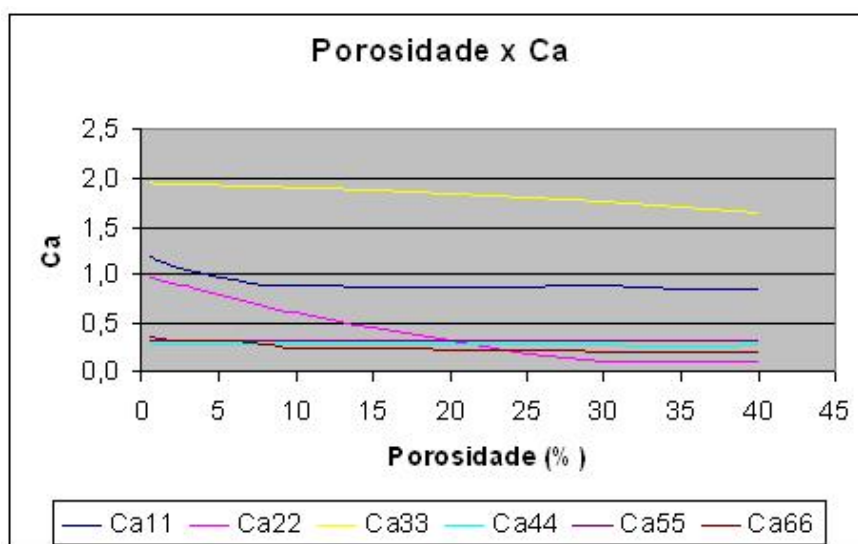


Figura 2.4.1: Variação do Ca com a porosidade.

Analisando a Figuras 2.4.1, observa-se que os coeficientes de massa adicional decrescem com o aumento da porosidade, área da *moonpool* circular. Os coeficientes Ca_{11} (*surge*), Ca_{22} (*sway*) e Ca_{33} (*heave*) apresentam uma diminuição mais significativa enquanto que os coeficientes de massa adicional de rotação, Ca_{44} (*roll*), Ca_{55} (*pitch*) e Ca_{66} (*yaw*) não sofrem muita variação. Comparando-se a Figura 2.4.1 com a Tabela 2.3.1, caso sem porosidade, nota-se que no início da porosidade a única queda acentuada é do Ca_{22} , de 1,64, Tabela 2.3.1, para 1,0, Figura 2.4.1, como esperado já que o cilindro interno está posicionado no eixo Y, tendo este portanto maior efeito da porosidade.

3. Referências

- NEWMAN, J.N. *Marine Hydrodynamics*, 2ª ed., The Massachusetts Institute of Technology, 1978.
 BLEVINS, R. D. *Formulas for Natural Frequency and Mode Shape*, 1979.
 WAMIT V6.211. *WAMIT user manual – Versions 6.2, 6.2PC, 6.2S, 6.2S-PC*. WAMIT, Incorporated and Massachusetts Institute of Technology, 2005.
 MG. *Mesh Generator – Manual do Usuário, Versão 3.0*, TeCGraf, Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica, 2005.

FERNANDES, A.C., SANTOS, M.F., MINEIRO, F.P.S. e NEVES, C.R. *Análise da Instalação do Segundo Manifold de Roncador através de Lançamento Pendular*. Relatório Técnico, Etapa 2, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.