

UMA REVISÃO DOS MODELOS NUMÉRICOS PARA A PREDIÇÃO DOS CAMPOS DE PRESSÃO EMITIDOS POR FONTES SÍSMICAS MARÍTIMAS IMPULSIVAS (AIRGUNS)

Vinícius Carneiro Rios Machado¹; Juan Carlos Romero Albino²

¹ Graduando em Engenharia Mecânica; Iniciação Científica – FAPESB; viniciuscarneiro.3000@gmail.com

² Doutor em Engenharia Mecânica; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; juan.albino@fieb.org.br

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo revisar os modelos numéricos para as assinaturas de pressão geradas pelas airguns sísmicas, utilizadas na indústria de exploração offshore de petróleo e gás natural. A partir de uma revisão da literatura foram recapitulados os efeitos acústicos e termodinâmicos envolvidos, bem como a evolução das soluções apresentadas para a modelagem computacional para as airguns. De modo complementar à revisão foram realizadas implementações no software MATLAB dos modelos numéricos revisados, onde inicialmente foi simulado o modelo básico para o comportamento da assinatura da airgun. Em seguida, foram simulados os modelos que incorporam a dissipação da energia acústica por transferência de calor, fluxo de massa, volume do corpo da airgun e a viscosidade do meio. Como resultado foram gerados os campos de pressão preditos pelos modelos numéricos revisados, comparando-se o comportamento do raio da bolha e da assinatura gerada com e sem a presença dos efeitos dissipativos.

PALAVRAS-CHAVE: Airgun sísmica, assinatura de pressão, modelagem computacional.

1. INTRODUÇÃO

A indústria petrolífera utiliza tecnologias baseadas na sísmica de reflexão para obtenção de dados em suas atividades de prospecção por reservatórios de petróleo e gás sob o assoalho oceânico. As airguns são fontes sísmicas com câmaras de ar comprimido, que liberam de forma repetida e controlada o ar pressurizado em intervalos de 10-15 s, sendo desde a década de 1970 as fontes mais empregadas na aquisição de dados sísmicos marinhos (Landrø et al, 2010).¹ O ar liberado na forma de uma bolha de alta pressão aproximadamente esférica, oscila no ambiente transmitindo energia em forma de ondas de pressão, que são utilizadas para a aquisição de dados sísmicos, sendo esta variação da pressão na água no domínio do tempo, a chamada assinatura da airgun (Krail, 2010).² As airguns sísmicas são dispostas em grandes arranjos de cabos (*streamers*) rebocados por embarcações. Diferentes capacidades de volumes de airguns são combinadas nos arranjos durante os testes sísmicos da indústria da exploração offshore (Landrø et al, 2010).¹

Segundo Laws (1990), o uso dos modelos computacionais para a predição das assinaturas é uma opção significativamente mais econômica para o projeto e otimização dos arranjos, do que a realização de sucessivos testes em campo.³ Diversos pesquisadores formularam abordagens analíticas e numéricas em torno do fenômeno de uma bolha de ar oscilando na água, resultando na formulação de equações para prever o raio da bolha e a pressão emitida, sendo aplicadas as condições de contorno e parâmetros técnicos típicos de disparo de uma airgun sísmica.

Partindo dessas breves considerações, este trabalho tem como objetivo revisar a literatura sobre os modelos numéricos para as assinaturas de airguns sísmicas individuais, através de uma busca nas bases de publicações científicas sobre o progresso ao longo dos anos realizados no tema e, de forma complementar ao trabalho de revisão, gerar as assinaturas preditas pelos modelos revisados, compreendendo-se os principais fatores físicos de influência abordados.

2. METODOLOGIA

De modo a realizar a revisão da literatura, foi empregada uma busca por artigos científicos através da combinação das strings [(airgun) AND ("numerical model" OR "pressure field" OR "airgun signature" OR "seismic survey")] para busca simultânea por título, resumo e palavras chaves, sem restrição de data de publicação, nas bases Science Direct e Google Scholar. Através das referências bibliográficas dos artigos de modelos selecionados, foram pesquisadas as demais publicações anteriores sobre o tema.

Em seguida, os modelos numéricos foram simulados para uma única airgun sísmica, através da implementação do algoritmo apresentado por Ziolkowski (1970) para resolução das equações de governo correspondentes,⁴ através do ambiente de programação do software MATLAB, gerando o raio da bolha e a assinatura sísmica resultante para uma dada distância entre fonte e detector. Por fim, foram incrementados a

este modelo básico os principais mecanismos de dissipação investigados em outros trabalhos e alguns fatores adicionais de influência no comportamento acústico, como o *ghost signal*.

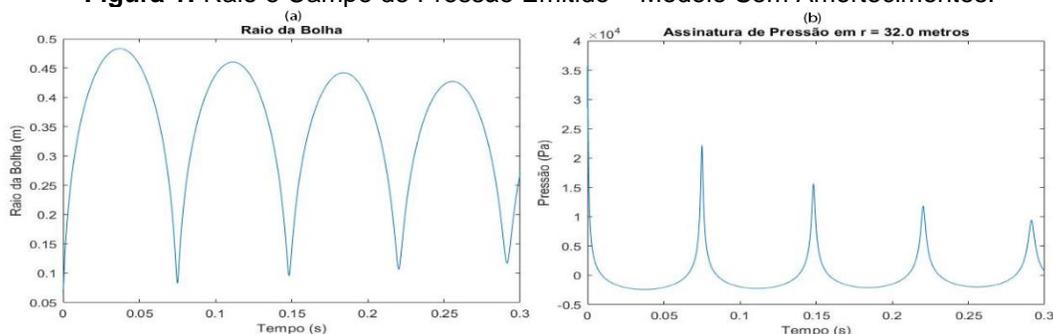
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desde o estudo de Rayleigh (1917) sobre a formação de bolhas de cavitação, a pressão radiada por bolhas de ar oscilantes no meio aquático foi de grande interesse aos pesquisadores da sismica de exploração.⁵ O físico H. Lamb (1923) deduziu as equações do movimento e radiação acústica da bolha, incorporando os termos de compressibilidade (Rayleigh aborda o problema para um meio incompressível), resultando em um conjunto de equações diferenciais parciais (modelo analítico), no entanto, desprovidas de solução exata.⁶ Gilmore (1952) também derivou analiticamente o movimento para a bolha oscilante e, aplicando o método das características para resolver as EDP's resultantes, obteve um conjunto solução de equações providas de uma aproximação de segunda ordem para incorporar a compressibilidade.⁷

A solução pelo método das características de Gilmore foi então aplicada como fundamento para modelar a assinatura de uma airgun sísmica pela primeira vez, pelo geofísico Ziolkowski (1970).⁴ Aplicando um esquema iterativo de integração numérica e partindo das equações governantes de Gilmore, das condições de contorno para uma airgun sísmica e da relação de gás ideal entre o raio da bolha e a pressão interna da mesma, Ziolkowski apresentou um algoritmo que produz computacionalmente a oscilação do raio da bolha e a pressão radiada no meio, medida a uma distância entre a fonte e o detector, durante um intervalo de tempo. Para o início da execução do esquema de integração numérica devem ser declarados os parâmetros iniciais de disparo, tais como a pressão manométrica na câmara de ar da airgun, profundidade do disparo e o volume da câmara.

Através do MATLAB foi implementado o algoritmo de Ziolkowski. Aplicando-se uma configuração para 13.8 Mpa de pressão de disparo, em uma airgun de 1.3 L, sob uma profundidade de 8 m e para uma distância de 32m da fonte, foi simulada a oscilação da bolha de ar emitida por uma airgun individual e sua correspondente assinatura sísmica, conforme exibido nas figuras 1a e 1b, respetivamente.

Figura 1: Raio e Campo de Pressão Emitido – Modelo Sem Amortecimentos.



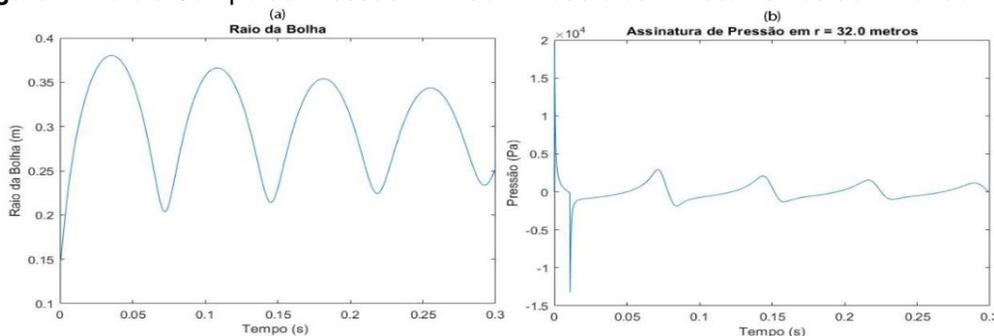
Fonte: Própria dos Autores.

No entanto, os resultados obtidos em testes reais apontavam para um amortecimento da assinatura sísmica superior ao modelado por Ziolkowski, onde há apenas a dissipação acústica amortecendo o sinal. Sendo assim, foram movidos esforços pelos pesquisadores para aprimorar os modelos computacionais, investigando-se os mecanismos adicionais de amortecimento presentes nos disparos em condições reais dos testes sísmicos. Dentre esses citam-se principalmente: a) o estrangulamento do fluxo de ar durante o escape pelos orifícios da câmara da airgun (Laws et al, 1990),³ ou seja, a massa de ar no interior da bolha varia durante o disparo, conforme o ar da câmara é transferido para a bolha, ao invés da abordagem do modelo inicial de Ziolkowski que considera como se todo o volume de ar da câmara fosse instantaneamente transferido para a bolha; b) a transferência de calor entre a bolha de ar e o ambiente, tanto por calor latente da evaporação/condensação de gotículas (Ziolkowski, 1982),⁸ quanto por condução na parede da bolha (Laws et al, 1990);³ c) o efeito da viscosidade e da tensão superficial durante a oscilação da bolha (Prosperetti, 1984).⁹

Outras importantes características físicas presentes nas condições reais de disparo sísmico são: a presença do próprio corpo da airgun sendo envolvido pela bolha de ar disparada, como propõe Schulze-Gattermann (1972);¹⁰ a flutuabilidade da bolha, uma vez que esta desenvolve por empuxo uma velocidade de ascensão vertical, tornando-se necessário recalcular a pressão hidrostática presente a cada passo de iteração; e a superposição com o sinal sísmico refletido na interface ar-água, conhecido como *ghost signal*.

Portanto, foram adicionadas as equações que expressam os fatores de amortecimento discutidos acima no código construído no MATLAB e executando-se uma simulação para os mesmos parâmetros aplicados antes, é evidente um expressivo amortecimento no sinal sísmico e na oscilação do raio da bolha, conforme ilustram as figuras 2a e 2b. Os autores dos modelos revisados apontam que as assinaturas previstas com a incorporação dos mecanismos de amortecimento, possuem uma similaridade notavelmente superior com as assinaturas medidas experimentalmente.

Figura 2: Raio e Campo de Pressão Emitido – Modelo com Mecanismos de Amortecimento.



Fonte: Própria dos Autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram revisados os modelos numéricos que predizem por simulação computacional, o campo de pressão emitido para airguns sísmicas marítimas, as principais fontes para geração de sinais para aquisição de dados na prospecção sísmica offshore. Partindo do algoritmo de Ziolkowski como um esquema básico para a integração numérica, os modelos para o raio da bolha de ar e para a assinatura de pressão, com e sem os mecanismos de dissipação de energia, foram gerados com sucesso, correspondendo aos padrões e valores exibidos nos trabalhos revisados sobre a modelagem numérica para estes importantes equipamentos para a exploração de petróleo e gás nos oceanos.

Agradecimentos

Ao SENAI CIMATEC e à FAPESB, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica em seu Programa Institucional de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) 2019 -2020.

5. REFERÊNCIAS

- ¹ AMUNDSEN, L.; LANDRØ, M. Marine Seismic Sources Part I: Air-guns for non experts. **Geo Expro**, 2010.
- ²KRAIL, P. M. Air guns: Theory and operation of the marine seismic source. **Course notes for GEO391: Principles of seismic data acquisition**, p. 1–44, 2010.
- ³LAWS, R. M.; HATTON, L.; HAARTSEN, M. Computer modelling of clustered airguns. **First Break**, v. 8, n. 9, p. 331–338, 1990.
- ⁴ZIOLKOWSKI, A. A Method for Calculating the Output Pressure Waveform from an Air Gun. **Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society**, v. 21, n. 2, p. 137–161, 1970.
- ⁵Lord Rayleigh O.M. F.R.S. (1917) VIII. On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity, *Philosophical Magazine*, 34:200, 94-98, DOI:10.1080/14786440808635681
- ⁶LAMB, H. XXIII. The early stages of a submarine explosion. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, v. 45, n. 266, p. 257–265, 1923.
- ⁷GILMORE, F. R., 1952, Collapse of a spherical bubble. Hydrodynamics Laboratory, California Institute of Technology, **Report No. 26-4**.
- ⁸ZIOLKOWSKI. An air gun model which includes heat transfer S14.4 and bubble interactions. **1982 SEG Annual Meeting, SEG 1982**, p. 187–189, 1982.
- ⁹PROSPERETI, A., 1984, Bubble phenomena in sound fields: *Ultrasonic*, **22**, 39 – 77.
- ¹⁰SCHULZE-GATTERMANN, R. Physical Aspects of the “Airpulsar” As a Seismic Energy Source. **Geophysical Prospecting**, v. 20, n. 1, p. 155–192, 1972.