

SUBSIDÊNCIA DO SOLO: O REFLEXO DA EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO NA SUPERFÍCIE

Liderlania Rodrigues da Silva¹
Everton dos Santos Lourenço²
Lysana Marle Vieira de Santana³
ElayneEmilia Santos Souza⁴



RESUMO

Problemas relacionados as atividades desenvolvidas pelo homem no meio ambiente, são constantemente vistas em diversos países do mundo. A extração de petróleo, gás, água ou minério estão entre as principais causas de ocorrência da subsidência já registradas, esse fenômeno tem como característica o rebaixamento da superfície devido à remoção de suporte da camada subterrânea, o processo em geral é lento, mais ao longo dos anos os efeitos se acumulam e atingem valores significativos, o que acarreta danos tanto a população quanto ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE

Subsidência. Extração. Rebaixamento da Superfície.

ABSTRACT

Problems related activities developed by man in the environment, are constantly seen in several countries. The extraction of oil, gas, water or ore are among the main occurrence causes of subsidence already registered, this phenomenon is characterized by the lowering of the surface due to the removal of the underground layer support, the overall process is slow, more over the years the effects accumulate and reach significant amounts, which causes damage to both the population and the environment.

KEYWORDS

Subsidence. Extraction. Drawdown Surface.

1 INTRODUÇÃO

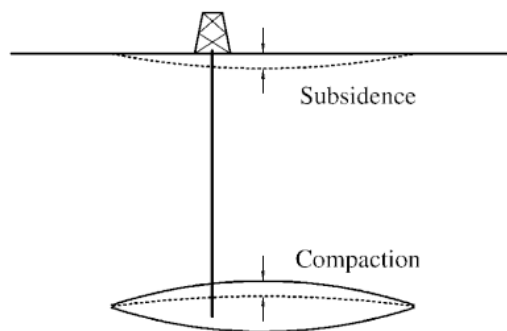
De acordo com CABRAL e outros autores (2006), a subsidência é um fenômeno de rebaixamento da superfície do terreno devido a alterações ocorridas nas camadas subterâneas, ou seja, é a redução do nível do terreno devido à remoção de suporte subterrâneo.

É um fenômeno sutil que pode ser observado pelo movimento do solo por meio de deformações e falhas (GALLOWAY; BURBEY, 2011).

Quando quantidades excessivas de fluidos são retiradas de sedimentos e rochas sedimentares mal consolidadas, a pressão de fluido entre os grãos é reduzida, e o peso dos materiais sobrejacentes faz com que os grãos se comprimam, resultando em subsidência do solo (WICANDER; MONROE, 2006).

Essa subsidência, é o reflexo da compactação do reservatório que se encontra em produção. Naveira (2008) afirma que o impacto mais imediato está relacionado com a estrutura do fundo do mar, que com a compactação do reservatório, manifestações de subsidência podem aparecer, gerando graves consequências para o meio ambiente e nas estruturas geológicas do campo.

Figura 1 – Compactação e subsidência



Fonte: Fjaer e outros autores (2008).

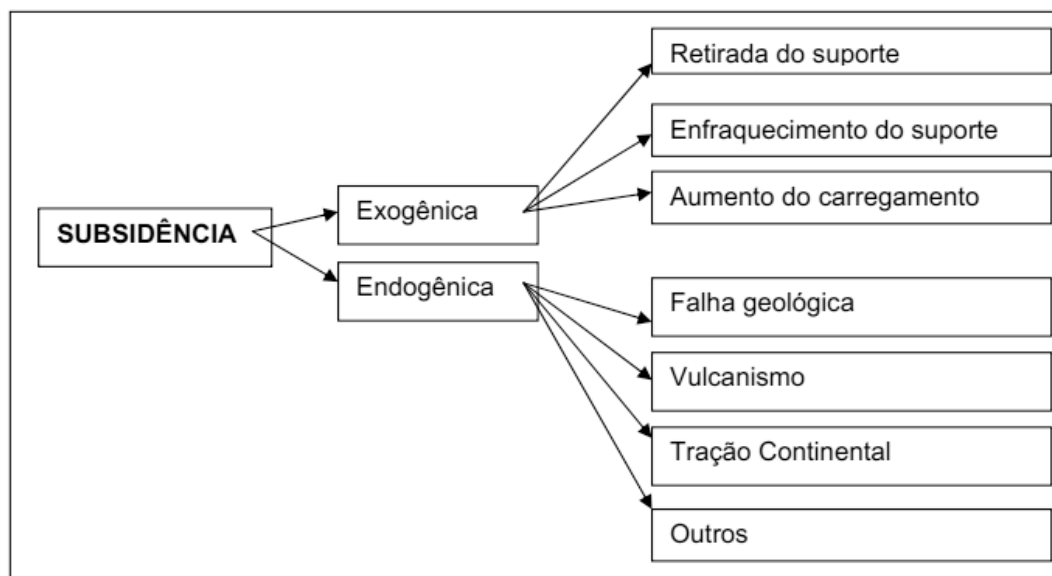
Problemas de compactação e subsidência devem ser esperados em formações moles, de alta compressibilidade, inconsolidadas, reservatórios carbonáticos (chalk reservoir), fraturados, campos sobre pressurizados ou que serão severamente depletados (NAVEIRA, 2008). Por isso se faz necessário estudos e pesquisas de solo para analisar as estruturas geológicas do campo.

2 MECANISMOS DA SUBSIDÊNCIA

A depender da origem do processo, os tipos de subsidência têm características distintas com relação à extensão do fenômeno, condições geológicas favoráveis à sua ocorrência e máximas magnitudes atingidas.

Segundo Prokopovich (1978), a origem da subsidência pode ser classificada em endogênicas e exogênicas.

Figura 2 – Classificação da subsidência de acordo com origem do fenômeno



Fonte: Prokopovich (1978).

A subsidência de forma exogênica trata-se quando o fenômeno ocorre por causas externas, geralmente influência do homem, como a retirada de suporte subterrâneo, enfraquecimento do mesmo ou o aumento da carga na superfície. E a endogênica é ocasionada por causas internas, da própria natureza, como falha geológica, vulcanismo, tração continental, entre outros.

Segundo Mingorance (2000), as ocorrências da subsidência se subdividem em cinco grupos.

1) Hidro Compactação

Esse fenômeno acontece por uma saturação rápida em depósitos finos não saturados e mal compactados. As partículas do solo são reorientadas devido a adição

de água, fazendo com que o solo perca sua capacidade de suporte, resultando numa consolidação pelo próprio peso.

2) Atividade Mineira

Ocorre devido ao colapso de materiais rochosos consolidados e/ou não consolidados, dentro das galerias subterrâneas. Pode ser consequência da retirada do suporte subterrâneo em grandes proporções, e a componente vertical do rebaixamento do solo é proporcional à altura da área de extração.

3) Extração de Água Subterrânea

A medida que a água é bombeada a pressão de poros, que ajudam a suportar as camadas sobrejacentes, é reduzida fazendo com que ocorra o rebaixamento do nível da água.

4) Dissolução de Rochas e Sais

Ocorre como um fenômeno chamado carstificação, é um processo do meio físico que consiste na dissolução de rochas calcárias ou carbonáticas.

5) Extração de Petróleo

Este ocorre de forma parecida com o da extração de água subterrânea. A pressão dos poros é reduzida pela extração de fluidos, à medida que a carga da rocha sobrejacente é gradualmente transferida às rochas do reservatório, produzindo compactação.

3 CASOS REGISTRADOS DE SUBSIDÊNCIA

A exploração de água, óleo e/ou gás dos reservatórios subterrâneos tem sido a principal causa da ocorrência de subsidência no mundo. Este fenômeno ocorre em proporção pequena, atingindo valores tão reduzidos (da ordem de milímetros por ano) que são considerados desprezíveis. Entretanto, diversos estudos têm mostrado que em áreas de exploração contínua de fluido, os prejuízos devido à ocorrência de subsidência em zonas povoadas, vão da inutilização de poços ao comprometimento da estrutura, em edifícios localizados em áreas atingidas pelo assentamento do terreno (CABRAL ET AL., 2006).

A Tabela 1 apresenta diversos casos de subsidência ocorrido em várias partes do mundo.

Tabela 1 – Valores de Subsidência registrados em vários países do mundo

| Localidades | Tempo de Monitoramento | Subsidência (m) | Fonte |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Porto Corsini, Itália | 1970-1993 (23 anos) | 0,37* | BITELLI <i>et al.</i> , (2000). |
| Bologna, Itália | 1983-1992 (9 anos) | 0,77* | BITELLI <i>et al.</i> , (2000). |
| Vale San Joaquim, Califórnia, EUA | 1917-1969 (52 anos) | 8,80 | LARSON <i>et al.</i> , (2001). |
| Wairakei, Nova Zelândia | 1952-1997 (45 anos) | 14,00 | (ALLIS, 2000) |
| Hanoi, Vietnam | 1989-1995 (6 anos) | 0,30 | (Thu & Fredlun, 2000) |
| Vale Antlope, Califórnia, EUA | 1940- | 8,84 | PHILLIPIS <i>et al.</i> , (1996). |
| Vale Las Vegas, Nevada, EUA | 1935-1992 (57 anos) | 2,00 | (Bell, 1997) |

| Localidades | Tempo de Monitoramento | Subsidência (m) | Fonte |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Eloy, Arizona, EUA | - | 4,57 | (Leake, 1997) |
| Oeste de Phoenix, Arizona, EUA | - | 5,49 | (Leake, 1997) |
| Tucson, Arizona, EUA | - | 0,30* | (Leake, 1997) |
| Albuquerque, Novo México, EUA | - | 0,30 | (Leake, 1997) |
| Bacia Mimbres, Novo México, EUA | - | 0,61 | (Leake, 1997) |
| Lancaster, Califórnia, EUA | - | 1,83 | (Leake, 1997) |
| Sudoeste de Mendota, Califórnia, EUA | - | 8,84 | (Leake, 1997) |
| Davis, Califórnia, EUA | - | 1,22 | (Leake, 1997) |
| Vale Santa Clara, Califórnia, EUA | - | 3,66 | (Leake, 1997) |
| Ventura, Califórnia, EUA | - | 0,61 | (Leake, 1997) |
| El Paso, Texas, EUA | - | 0,30 | (Leake, 1997) |
| Houston, Texas, EUA | - | 2,74 | (Leake, 1997) |
| Jakarta, Indonésia | - | 0,20 | ABIDIN <i>et al.</i> , (2001). |
| Suzhou, China | 14 anos | 1 | CHEN <i>et al.</i> , (2003). |
| Condado de Yunlin | - | 0,10/ano | (Chang, 2000) |
| Ojiya, Japão | 3 anos | 0,07 | SATO <i>et al.</i> , (2003). |
| Kerman, Irã | - | 0,06/ano | (Atapour & Aftabi, 2002) |

*Valores aproximados

Fonte: Adaptado de Cabral e outros autores (2006).

O primeiro caso de subsidência observado foi o do campo de Goose Creek no Texas, em meados de 1910, como mostra a Figura 3, onde fica evidente a diferença de alguns centímetros no mesmo terreno, ocasionado pela subsidência decorrente a exploração de petróleo.

Figura 3 – Primeiro registro de subsidência no mundo devido a exploração de petróleo



Figure 2. 1926 photograph of a new fault scarp 0.5 miles north of the Goose Creek oil field. Fault offset at the surface is approximately 16 inches. From Galloway et al, 1999.

Fonte: Pratt e Johnson, (1926).

Outro caso conhecido, é o do campo de Wilmington que foi descoberto em 1932, perto de Los Angeles no Estado da Califórnia, EUA, teve início da produção em 1936, em sua vida produtiva rendeu cerca de 3,75 bilhões de barris de petróleo. A produção de Petróleo, gás e água causou perdas de pressão e o peso sobrecarga, compactado as areias betuminosas. A superfície afundou em resposta a esta compactação do subterrâneo. Com a subsidência, estritas regulamentações na operação do campo foram decretadas (NAGEL, 2001).

A companhia THUMS, a qual opera a parte sul do campo, foi obrigada a assinar um contrato com a cidade de Long Beach do Estado da Califórnia comprometendo-se a manter a injeção de água em 105% da produção para prevenir a subsidência. Mais de 20 milhas quadradas foram afetadas adjacente à costa a partir do Porto de Seal Beach. A injeção de água no campo de Wilmington teve início em 1958 quando a taxa de subsidência estava em aproximadamente 38 cm/ano, chegando a aproximadamente 9 metros em 1968. Com a injeção de água, em 1996 a taxa de subsidência já estava aproximadamente zero. Entretanto, os custos decorrentes, excediam os 100 Milhões de dólares, em 1970 (GAS; OIL DEPARTAMENT, [on-line]).

As Figuras 4, 5 e 6, apresentam os danos sofridos na região do Campo de Wilmington.

Figura 4 – Porto Wharf, campo de Wilmington



Fonte: Gas & Oil Department (1958).

Figura 5 – Resultados de subsidência em Harbor e arredores, campo de Wilmington



Fonte: Gas & Oil Department (1958).

Figura 6 – Resultados de subsidência em Harbor e arredores, campo de Wilmington



Fonte: Gas & Oil Department (1958).

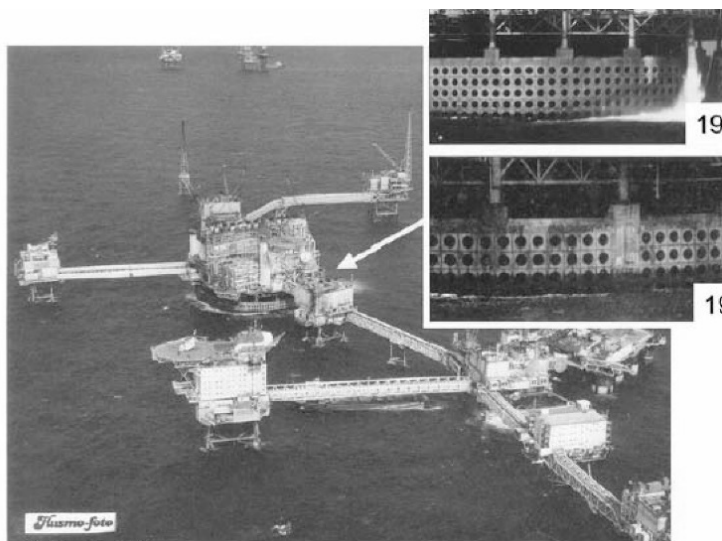
A subsidência foi primeiramente detectada em 1940 dentro do perímetro da praia Long Beach Naval, causando sérios danos ao estaleiro próximo e nas regiões ao redor da cidade, conforme as Figuras 4, 5 e 6. O oceano inundou cais, linhas ferroviárias e dutos foram deformados ou cortados, enquanto os edifícios e ruas foram deslocados. Noventa e cinco poços de petróleo foram severamente danificados ou cortados fora por deslizamento no subsolo (NAGEL, 2001).

O campo de Ekofisk possui um reservatório de rochas carbonáticas, sobre pressurizado, naturalmente fraturado, localizado no setor Norueguês no Mar do Norte. Possui uma área de 48 km² com 183 m de espessura. A produção do campo teve início em 1971 com quatro poços produtores, produzindo inicialmente pelo mecanismo de gás em solução até o início da injeção de água em 1987. A subsidência no leito marinho foi observada a primeira vez em 1984, afundando aproximadamente três metros (NAGEL, 2001).

Ao iniciar a injeção de água com o intuito de manter a pressão e aumentar a recuperação, esperava-se diminuir ou até parar com a subsidência. Entretanto, assim que a pressão começou a estabilizar em 1993 e início de 1994, houve um pequeno impacto na taxa de subsidência, estabilizando em 1998. A partir daí a taxa permaneceu praticamente inalterada, acumulando um total de 7,8 m de subsidência. A conclusão das pesquisas e experimentos realizados no campo mostra que a injeção de água em certos tipos de reservatórios, pode aumentar a compressibilidade da rocha devido a interação entre a água e a calcita, modificando a relação grão a grão, facilitando a rotação e a translação entre eles, reduzindo a resistência mecânica da rocha e aumentando a compressão (ZOBACK, 2007).

Na Figura 7 pode-se observar que o número de buracos na parede de proteção ao redor da plataforma diminuiu.

Figura 7 – Subsidência no Campo de Ekofisk



Fonte: Naveira (2008).

A Figura 7 apresenta a plataforma do campo de Ekofisk em meados de 1973 e 1986. Visivelmente o número de buracos na parede de proteção ao redor da plataforma diminuiu. A perda de espaço livre comprometeu a segurança da plataforma, assim em 1987 ocorreram operações para a instalação de uma barreira ao redor da plataforma, o que gerou um custo total de um bilhão de dólares.

O campo de South Belridge é outro exemplo de caso de subsidência, localizado na Califórnia, possui um reservatório arenito inconsolidado, com espessura entre 122 a 183m, possuindo formações subjacentes de 305m altamente compressíveis.

Por volta de 1980, operadores detectaram danos em revestimento e rupturas em poços. Em 1987, após uma forte tempestade, foi observado fissuras na superfície ao norte do campo, onde tais fissuras estavam orientadas aproximadamente paralelas à orientação da tensão horizontal máxima. Suspeitou-se que tais danos e fissuras eram resultantes da compactação do reservatório e da subsidência do leito marinho (HANSEN, 1993).

No Brasil, não há relatos significativos do fenômeno pela produção de Petróleo, porém, existem diversos casos apresentados por mineração e principalmente pela super-exploração de aquíferos subterrâneos, dentre as principais cidades afetadas pela subsidência destacam-se Cajamar/SP, Lapão/BA, Teresina/PI, Recife/PE.

4 CONCLUSÃO

Diante de todos os riscos relacionados à subsidência, conclui-se que abusa por pesquisas e técnicas que possam ser desenvolvidas no sentido de mitigar as consequências causadas pelo fenômeno se fazem necessárias, trazendo à tona um assunto pouco conhecido e possibilitando uma melhor compreensão dos problemas relacionados à extração de petróleo.

REFERÊNCIAS

ABIDIN, H.Z. *et al.* Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic Monitoring System. **Natural Hazards**, v. 23, 2001. p.365-387.

ALLIS, R.G. Review of Subsidence at Wairakei Field. **Geothermics**, v.29, 2000. p.455-478.

ATAPOUR, H.; AFTABI, A. Geomorphological, geochemical and geo-environmental aspects of karstification in the urban areas of Kerman city, southeastern, Iran. **Environmental Geology**, v.42, 2002. p.783-792.

BELL, J. W. Las Vegas Valley: Land Subsidence and Fissuring Due to Ground-Water Withdrawal. Nevada Bureau of Mines and Geology. **Nevada Bureau of Mines and Geology**. 1997.

BITELLI, G.; BONSIGNORE, F.; UNGUENDOLI, M. Levelling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley. **Journal of Geodynamics**, v.30, 2000. p.355-369.

CABRAL, J.J.; SANTOS, S.M.; PONTES FILHO, I.D. Bombeamento Intensivo de Água Subterrânea e Risco de Subsidência do Solo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, 2006. p.147-157.

CHANG, C. Estimation of Local Subsidence Using GPS and Levelling Combined Data. **Surveying and Land Information Systems**, v.2, n.60, 2000. p.85-94.

CHEN, C.; PEI, S.; JIAO, J.J. Land subsidence caused by groundwater exploitation in Suzhou City, China. **Hydrogeology Journal**, v.11, 2003. p.275-287.

FJAER, E. *et al.* Petroleum Related Rock Mechanics. 2.ed. **Petroleum Science**, 2008.

GALLOWAY, D.L.; BURBEY, T.J. Review: Region land subsidence accompanying groundwater extraction. **Hydrogeology Journal**, v.19, 2011. p.1459-1486.

GAS & OIL DEPARTMENT. (s.d.). **Long Beach Gas & Oil**. Disponível em: <[http://www.longbeach.gov/lbgo/about-us/oil/subsidence/Long Beach](http://www.longbeach.gov/lbgo/about-us/oil/subsidence/Long%20Beach)>. Acesso em: 5 mar. 2016,

LARSON, K.J.; BASAGAOGLU, H.; MARIÑO, M.A. Prediction of optimal safe groundwater yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model. **Journal of Hydrology**, v.242, 2001. p.79-102.

LEAKE, K.J. **Land Subsidence from Ground-Water Pumping**. 1997.

MINGORANCE, F. Manifestaciones de subsidencia superficial en el Pastal. **Revista de la Facultad de Ingenieria**, v.41, 2000. p.5-16.

NAGEL, N.B. Compaction and Subsidence Issues within the Petroleum Industry: From Wilmington to Ekofisk and Beyond. **Physis. Chem. Earth**, v.26, 2001. p.3-14.

NAVEIRA, V.P. Incorporação dos efeitos geomecânicos de compactação e subsidência na simulação de reservatórios de petróleo. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

PHILLIPIS, C.C.; CLARKE, D.D.; AN, L.Y. Give New Life to Aging Fields. **The American Oil & Gas**, September de 1996. p.107-115.

PRATT, W.E.; JOHNSON, D.W. Local subsidence of the Goose Creek Oil Field. **Journal of Geology**, v.34, 1926. p.577-590.

PROKOPOVICH, N.P. Genetic classification of land subsidence. Evaluation and Prediction of Subsidence. **Engineering Foundation Conference in Penacola Beach**.

New York, 1978. p.389-399.

SATO, H.P.; ABE, K.; ORAKI, O. GPS-Measured Land Subsidence in Ojiya City, Niigata Prefecture. **Engineering Geology**, v.67, 2003. p.379-390.

THU, T. M.; FREDLUN, D.G. Modelling subsidence in the Hanoi City area, Vietnam. Canadian. **Geotechnical Journal**, v.6, n.37, 2000. p.21-637.

WICANDER, R.; MONROE, J.S. The Changing Earth: Exploring Geology and Evolution. 4.ed. United States of America: Thomson Brooks/Cole, 2006.

Data do recebimento: 14 de setembro de 2016

Data da avaliação: 24 de setembro de 2016

Data de aceite: 2 de Outubro de 2016

1. Graduanda em Engenharia de Petróleo – UNIVERSIDADE TIRADENTES – UNIT.

Email: liderlania.rodrigues@acad.unit.br

2. Graduando em Engenharia de Petróleo – UNIVERSIDADE TIRADENTES – UNIT.

Email: everton.lourenco@acad.unit.br

3. Graduanda em Engenharia de Petróleo – UNIVERSIDADE TIRADENTES – UNIT.

Email: lysana_marle@hotmail.com

4. Profa. Dra. da UNIVERSIDADE TIRADENTES – Coordenadora do Curso de Engenharia de Petróleo.

Email: elayneemilia@yahoo.com.br