



MICROBIAL ENHANCED OIL  
RECOVERY (MEOR)

## RECUPERAÇÃO ADICIONAL DE PETRÓLEO COM RECURSO A MICRORGANISMOS

Gudiña, E.;  
Rodrigues, L.R.;  
Teixeira, J.A.

Centro de Engenharia  
Biológica, Instituto de  
Biotecnologia  
e Bioengenharia,  
Universidade do Minho

O petróleo é uma fonte de energia da maior importância e um factor chave no desenvolvimento da economia mundial. A sua extracção ocorre em diferentes fases: na primeira fase, a extracção do petróleo e do gás natural acontece por acção da pressão no interior do reservatório; na segunda fase, a extracção é forçada pela injecção de fluidos que melhoram o fluxo de petróleo e gás para a parte superior do poço (Lazar et al. 2007). Durante a extracção primária, o petróleo extraído representa entre 5 e 10 % do petróleo existente no poço; a extracção secundária permite aumentar a recuperação para 10% a 40% (Sen 2008). Estes valores indicam que cerca de dois terços do petróleo existente nos poços não é extraído, o que obriga ao desenvolvimento de metodologias inovadoras de extracção (Youssef et al. 2007, 2009; Suthar et al. 2008; Brown 2010). Os principais factores responsáveis pela reduzida extracção de petróleo são a baixa

permeabilidade de alguns reservatórios, a elevada viscosidade do petróleo e a grande tensão interfacial entre as fases aquosa e de hidrocarbonetos que levam à existência de forças de capilaridade que retêm o petróleo nos poros de pequena dimensão existentes nos reservatórios (Sen 2008; Brown 2010). O aumento do preço do petróleo e a redução das reservas exige a exploração do petróleo existente nos poços maduros para garantir as necessidades energéticas futuras. Para dar resposta a este desafio, têm vindo a ser desenvolvidas técnicas terciárias de recuperação, conhecidas como *Chemical Enhanced Oil Recovery* (CEOR) – extracção de petróleo melhorada quimicamente (Sen 2008; Youssef et al. 2009; Brown 2010).

Os métodos químicos utilizados incluem a utilização de surfactantes, polímeros, ácidos, gases e solventes (Lazar et al. 2007). Os surfactantes reduzem a tensão interfacial nas interfaces petró-

leo-água e petróleo-rocha, levando a uma diminuição das forças capilares que impedem a circulação do óleo nos poros da rocha, ocorrendo também a alteração da molhabilidade da rocha do reservatório. Os polímeros são utilizados para aumentar a viscosidade da água em operações de alagamento com água, aumentando a eficiência do processo. Os polímeros também entopem as zonas sem petróleo dos poços, forçando a circulação da água nos canais ricos em petróleo o que leva à libertação do petróleo residual. Os ácidos são utilizados para aumentar a permeabilidade dos poros. Por sua vez, os gases e os solventes reduzem a viscosidade do petróleo e promovem o seu fluxo; adicionalmente os gases também induzem um aumento da pressão no reservatório. É genericamente aceite que a utilização do CEOR permite a recuperação de cerca de 30% do petróleo retido nos poços (Bordoloi and Konwar 2008). Todavia, estes processos são agressivos ambientalmente, dispendiosos e deixam resíduos indesejáveis que são de eliminação difícil sem incorrer em prejuízo para o ambiente.

O MEOR - *Microbial Enhanced Oil Recovery* (Recuperação adicional de petróleo com recurso a microrganismos) é uma importante técnica terciária de extracção que constitui uma alternativa económica ao CEOR, para além de ser amiga do ambiente. No MEOR, microrganismos seleccionados são utilizados na produção de compostos análogos aos utilizados em CEOR, com o objectivo de aumentar a recuperação de petróleo de poços exaustos ou marginais. O MEOR é mais económico que o CEOR porque os microrganismos têm a capacidade de sintetizar compostos úteis por fermentação de substratos/matérias-primas de baixo custo. Além disto, os produtos obtidos são biodegradáveis e têm baixa toxicidade (Lazar et al. 2007; Suthar et al. 2008; Banat et al. 2010).

Os biosurfactantes MEOR são um dos métodos mais promissores para a recuperação de uma quantia significativa do petróleo residual existente em poços maduros (Banat et al. 2010; Simpson et al. 2011). Os biosurfactantes são um grupo heterogéneo de moléculas, produzidas por microrganismos, com actividade de superfície. Possuem zonas hidrofóbicas e hidrofílicas, o que lhes confere a propriedade de se distribuírem na interface de duas fases fluidas com diferentes graus

de polaridade, como é o caso dos sistemas petróleo-água e ar-água. Os biosurfactantes reduzem a tensão superficial e interfacial e permitem a formação de emulsões estáveis nas quais os hidrocarbonetos estão solubilizados em água, ou a água nos hidrocarbonetos (Jenneman et al. 1983; Yakimov et al. 1995; Suthar et al. 2008; Banat et al. 2010). Alguns biosurfactantes produzidos por microrganismos são capazes de reduzir a tensão superficial entre os hidrocarbonetos e a fase aquosa para valores que permitem extrair o petróleo retido (Yakimov et al. 1997; Youssef et al. 2007; Simpson et al. 2011). Como tal, os biosurfactantes são bons candidatos para aplicação em MEOR, substituindo os surfactantes químicos devido à sua especificidade, baixa toxicidade, elevada biodegradabilidade e eficiência em condições extremas de temperatura, pressão, pH e salinidade (Nitschke and Pastore 2006; Abdel-Mawgoud et al. 2008; Bordoloi and Konwar 2008; Pornsunthorntaweet et al. 2008; Lotfabad et al. 2009)..

Existem duas estratégias principais para a aplicação de biosurfactantes em MEOR. Os biosurfactantes podem ser produzidos *ex situ* e posteriormente injectados no reservatório; ou podem ser produzidos *in situ* por microrganismos endógenos ou injectados, cuja actividade é estimulada pela adição de nutrientes no poço. A primeira abordagem apresenta custos elevados na operação do reactor, purificação do produto e sua introdução no reservatório. A segunda opção é mais atractiva do ponto de vista económico, mas exige a utilização de microrganismos capazes de produzirem as quantidades necessárias de biosurfactante no reservatório (Lazar et al. 2007; Banat et al. 2010).

A utilização de microrganismos na degradação das fracções pesadas de petróleo é outro dos mecanismos de acção do MEOR. Neste caso, a viscosidade do petróleo diminui tornando-o mais leve, mais fluido e com maior valor. Em alguns casos, a combinação de mecanismos múltiplos utilizando um consórcio microbiano com diferentes propriedades (capacidade de degradar fracções pesadas de petróleo e produzir biosurfactantes) pode ser uma estratégia eficiente para melhorar a extracção de petróleo (Jinfeng et al. 2005). Existem vários microrganismos capazes de degradar hidrocarbonetos



utilizando-os como fonte de carbono (Grishchenkov et al. 2000; Li et al. 2002; Sabirova et al. 2006; Wentzel et al. 2007; Etoumi et al. 2008; Binazadeh and Karimi 2009). Exemplos incluem estirpes de *Gordonia amicalis* que demonstraram ter a capacidade de degradar, em aerobiose e anaerobiose, os n-alcenos de maior massa molecular (Hao et al. 2008); *Pseudomonas fluorescens* que consegue degradar hidrocarbonetos com cadeias de tamanho entre C12 e C32 (Banat 1995); os n-alcenos mais pesados (C36 to C40) podem ser degradados pela ação de *Pseudomonas aeruginosa* (Hasanuzzaman et al. 2007); e uma estirpe termofílica de *Bacillus* só degradou alcanos de cadeia longa (C15-C36) não tendo degradado alcanos C8-C14 (Wang et al. 2006). No poço Daqing Oilfield (China), foi estudada a utilização de estirpes endógenas de *Bacillus* com a capacidade de produzir biosurfactantes na degradação de fracções pesadas de petróleo e na melhoria das suas propriedades de transporte (She et al. 2010).

O principal obstáculo à aplicação de MEOR reside na dificuldade de isolar microrganismos que possam crescer e produzir os metabolitos pretendidos nas condições ambientais extremas existentes nos poços de petróleo; muitos poços estão em anaerobiose e apresentam temperatura e salinidade elevadas. A dificuldade, quase impossibilidade, de manipular os parâmetros ambientais existentes nos reservatórios, limita o número de reservatórios onde o MEOR pode ser aplicado para tratamento *in situ*. Todavia, estirpes de *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* que são produtoras de biosurfactantes têm vindo a ser isoladas de poços de petróleo (Jenneman et al. 1983; Yakimov et al. 1995; Dastheib et al. 2008; Ghojavand et al. 2008a; Youssef et al. 2009; Simpson et al. 2011, Gudiña et al. 2012), e como tal deverão ser capazes de tolerar as condições ambientais existentes nos reservatórios, confirmando a possibilidade de aplicação do MEOR *in situ* e abrindo novas oportunidades para a utilização da biotecnologia na extração de petróleo.

## REFERENCES

- Abdel-Mawgoud, A.M., Aboulwafa, M.M., Hassouna, N.A.H., 2008. Characterization of surfactin produced by *Bacillus subtilis* isolate BS5. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 150, 289-303.
- Banat, I.M., 1995. Biosurfactants production and possible uses in microbial enhanced oil recovery and oil pollution remediation: a review. *Bioresource Technology* 51, 1-12.
- Banat, I.M., Franzetti, A., Gandolfi, I., Bestetti, G., Martinotti, M.G., Fracchia, L., Smyth, T.J., Marchant, R., 2010. Microbial biosurfactants production, applications and future potential. *Applied Microbiology and Biotechnology* 87, 427-444.
- Binazadeh, M., Karimi, I.A., 2009. Fast biodegradation of long chain *n*-alkanes and crude oil at high concentration with *Rhodococcus* sp. Moj-3449. *Enzyme and Microbial Technology* 45, 195-202.
- Bordoloi, N.K., Konwar, B.K., 2008. Microbial surfactant-enhanced mineral oil recovery under laboratory conditions. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 63, 73-82.
- Brown, L.R., 2010. Microbial enhanced oil recovery (MEOR). *Current Opinion in Microbiology* 13, 1-5.
- Das, M., Das, S.K., Mukherjee, R.K., 1998. Surface active properties of the culture filtrates of a *Micrococcus* species grown on *n*-alkanes and sugars. *Bioresource Technology* 63, 231-235.
- Dastgheib, S.S.M., Amoozegar, M.A., Elahi, E., Asad, S., Banat, I.M., 2008. Bioemulsifier production by a halotolerant *Bacillus* strain with potential applications in microbially enhanced oil recovery. *Biotechnology Letters* 30, 263-270.
- Etoumi, A., El Musrati, I., El Gammoudi, B., El Behlil, M., 2008. The reduction of wax precipitation in waxy crude oils by *Pseudomonas* species. *Journal of Industrial and Microbiology and Biotechnology* 35, 1241-1245.
- Ghojavand, H., Vahabzadeh, F., Roayaei, E., Shahraki, A.K., 2008b. Production and properties of a biosurfactant obtained from a member of the *Bacillus subtilis* group (PTCC 1696). *Journal of Colloid and Interface Science* 324, 172-176.
- Ghojavand, H., Vahabzadeh, F., Mehranian, M., Radmehr, M., Shahraki, A.K., Zolfagharian, F., Emadi, M.A., Roayaei, E., 2008a. Isolation of thermotolerant, halotolerant, facultative biosurfactant-producing bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* 80, 1073-1085.

- Gudiña, E.; Pereira, J.F.B.; Rodrigues, L.R.; Coutinho, J.A.P.; Teixeira, J.A. Isolation and study of microorganisms from oil samples for application in microbial enhanced oil recovery. *International Biodeterioration & Degradation*, 68, 56-64, 2012
- Grishchenkov, V.G., Townsend, R.T., McDonald, T.J., Autenrieth, R.L., Bonner, J.S., Boronin, A.M., 2000. Degradation of petroleum hydrocarbons by facultative anaerobic bacteria under aerobic and anaerobic conditions. *Process Biochemistry* 35, 889-896.
- Hao, D.H., Lin, J.Q., Song, X., Su, J.Q., Qu, Y.B., 2008. Isolation, identification, and performance studies of a novel paraffin-degrading bacterium of *Gordonia amicalis* LH3. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 13, 61-68.
- Hasanuzzaman, M., Ueno, A., Ito, H., Ito, Y., Yakamoto, Y., Yumoto, I., Okuyama, H., 2007. Degradation of long-chain *n*-alkanes (C36 and C40) by *Pseudomonas aeruginosa* strain WatG. *International Biodeterioration and Biodegradation* 59, 40-43.
- Jenneman, G.E., McInerney, M.J., Knapp, R.M., Clark, J.B., Feero, J.M., Revus, D.E., Menzie, D.E., 1983. A halotolerant, biosurfactant producing *Bacillus* species potentially useful for enhanced oil recovery. *Developments in Industrial Microbiology* 24, 485-492.
- Jinfeng, L., Lijun, M., Bozhong, M., Rulin, L., Fangtian, N., Jiaxi, Z., 2005. The field pilot of microbial enhanced oil recovery in a high temperature petroleum reservoir. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 48, 265-271.
- Lazar, I., Petrisor, I.G., Yen, T.F., 2007. Microbial enhanced oil recovery (MEOR). *Petroleum Science and Technology* 25, 1353-1366.
- Li, Q., Kang, C., Wang, H., Liu, C., Zhang, C., 2002. Application of microbial enhanced oil recovery technique to Daqing Oilfield. *Biochemical Engineering Journal* 11, 197-199.
- Lotfabad, T.B., Shourian, M., Roostaazad, R., Najafabadi, A.R., Adelzadeh, M.R., Noghabi, K.A., 2009. An efficient biosurfactant-producing bacterium *Pseudomonas aeruginosa* MR01, isolated from oil excavation areas in south of Iran. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 69, 183-193.
- Nitschke, M., Pastore, G.M., 2006. Production and properties of a surfactant obtained from *Bacillus subtilis* grown on cassava wastewater. *Bioresource Technology* 97, 336-341.
- Pornsunthornatwee, O., Arttaweeporn, N., Paisanjit, S., Somboonthanate, P., Abe, M., Rujiravanit, R., Chavadej, S., 2008. Isolation and comparison of biosurfactants produced by *Bacillus subtilis* PT2 and *Pseudomonas aeruginosa* SP4 for microbial surfactant-enhanced oil recovery. *Biochemical Engineering Journal* 42, 172-179.
- Sabirova, J.S., Ferrer, M., Regenhart, D., Timmis, K.N., Golyshin, P., 2006. Proteomic insights into metabolic adaptations in *Alcanivorax borkumensis* induced by alkane utilization. *Journal of Bacteriology* 188, 3763-3773.
- Sen, R., 2008. Biotechnology in petroleum recovery: The microbial EOR. *Progress in Energy and Combustion Science* 34, 714-724.
- She, Y.H., Zhang, F., Xia, J.J., Kong, S.Q., Wang, Z.L., Shu, F.C., Hu, J.M., 2010. Investigation of Biosurfactant-producing indigenous microorganisms that enhanced residue oil recovery in an oil reservoir after polymer flooding. *Applied Microbiology and Biotechnology* 163, 223-234.
- Simpson, D.R., Natraj, N.R., McInerney, M.J., Duncan, K.E., 2011. Biosurfactant-producing *Bacillus* are present in produced brines from Oklahoma oil reservoirs with a wide range of salinities. *Applied Microbiology and Biotechnology* 91, 1083-1093.
- Suthar, H., Hingurao, K., Desai, A., Nerurkar, A., 2008. Evaluation of bioemulsifier mediated Microbial Enhanced Oil Recovery using sand pack column. *Journal of Microbiological Methods* 75, 225-230.
- Wang, L., Tang, Y., Wang, S., Liu, R.L., Liu, M.Z., Zhang, Y., Liang, F.L., Feng, L., 2006. Isolation and characterization of a novel thermophilic *Bacillus* strain degrading long-chain *n*-alkanes. *Extremophiles* 10, 347-346.
- Wentzel, A., Ellingsen, T.E., Kottlar, H.K., Zotchev, S.B., Throne-Holst, M., 2007. Bacterial metabolism of long-chain *n*-alkanes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 76, 1209-1221.
- Yakimow, M.M., Amro, M.M., Bock, M., Boseker, K., Fredrickson, H.L., Kessel, D.G., Timmis, K.N., 1997. The potential of *Bacillus licheniformis* strains for in situ enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 18, 147-160.
- Yakimow, M.M., Timmis, K.N., Wray, V., Fredrickson, H.L., 1995. Characterization of a new lipopeptide surfactant produced by thermotolerant and halotolerant subsurface *Bacillus licheniformis* BAS50. *Applied and Environmental Microbiology* 61, 1706-1713.
- Youssef, N., Simpson, D.R., Duncan, K.E., McInerney, M.J., Folmsbee, M., Fincher, T., Knapp, R.M., 2007. *In situ* biosurfactant production by *Bacillus* strains injected into a limestone petroleum reservoir. *Applied and Environmental Microbiology* 73, 1239-1247.
- Youssef, N., Elshahed, M.S., McInerney, M.J., 2009. Microbial processes in oil fields: culprits, problems and opportunities. *Advances in Applied Microbiology* 66, 141-251.

