

# RECUPERAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO EM CAMPOS MARGINAIS DO RECÔNCAVO BAIANO MEDIANTE CRESCIMENTO MICROBIANO IN SITU

**SAMAI NUNES DE OLIVEIRA<sup>1</sup> ; PABLO RODRIGO FICA PIRAS<sup>2</sup>**

1. Bolsista FAPESB/CNPq, Graduando em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: samainoliveira@gmail.com

2. Orientador, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: pafipi@uefs.br

**PALAVRAS-CHAVE:** Petróleo, Recuperação, MEOR.

## INTRODUÇÃO

O petróleo é uma mistura complexa de compostos não aquosos e hidrofóbicos como n-alcanos, aromáticos, resina e alfasteno (PIRRÔLO, 2006).

Embora o país tenha descobertas em nove grandes bacias até o momento (FILHO *et al*, 2006), os poços não são econômicos com menos do 70% da reserva inicial, embora rentável caso se consiga um método eficaz e barato de recuperação. Por outro lado, as descobertas aumentam as reservas mas no longo prazo o consumo as supera. Há também uma tendência nacional a que essas descobertas sejam *off shore* (FILHO *et al*, 2006), o que espontaneamente dá valor às reservas em terra.

Para retirada de petróleo nos poços é necessária a utilização de métodos mecânicos, físicos e químicos. Com o decorrer da extração do óleo os poços vão se tornando esgotados ou maduros, e os métodos de extração mais utilizados não são mais eficazes. A biotecnologia tem um importante papel na extração de óleo nesses poços maduros, a recuperação avançada MEOR, é baseada na estimulação de microrganismo nativos mediante a injeção de inóculos *ex situ* com adição de nutrientes, com o objetivo de obter etapas metabólicas que possibilitem no aumento da produção de óleo (SEN, 2008).

Com estudos aprofundados de extração utilizando como método MEOR é possível realizar uma modelagem, buscando estratégias de intervenção nos campos maduros. Modelos matemáticos e simulações computacionais ajudam na aplicação microbiológica com o intuito de investigar como será o comportamento dos microrganismo em determinadas variáveis do ambiente. As modelagens já existentes foram desenvolvidas com base em leis fundamentais de conservação, retenção de crescimento, cinética da biomassa e a concentração da biomassa nos meios aquoso e oleoso. Essas modelagens procuram mostrar a redução da porosidade como uma função entre a distância e tempo ou com base em um modelo de filtração para expressar o transporte bacteriano em função da abertura dos poros que também se referem a permeabilidade com a taxa de penetração bacteriana aplicando a lei de Darcy.

Segundo Desoky as seguintes equações demonstram o princípio da conservação das massas:

1. Bacteriana:

$$\begin{aligned} & \phi \frac{\partial}{\partial t} (\theta_w \rho_w C_{bw} + \theta_{wo} \rho_o C_{bo} + \sigma_h \theta_r \rho_r) - \phi (u-K) (\theta_w \rho_w C_{bw} + \theta_o \rho_o C_{bo} + \sigma_h \theta_r \rho_r) = \phi \frac{\partial}{\partial x} \\ & (\theta_w \rho_w D_{bw} \frac{\partial C_{bw}}{\partial x} + \theta_o \rho_o D_{bo} \frac{\partial C_{bo}}{\partial x}) - \phi K_m \frac{\partial}{\partial x} [\frac{\partial C_n}{\partial x} \frac{1}{c_n} (\theta_w \rho_w C_{bw} + \theta_o \rho_o C_{bo})] + \\ & \frac{\partial}{\partial x} [\frac{\partial \rho}{\partial x} (C_{bw} \rho_w \lambda_w + C_{bo} \rho_o \lambda_o)] + \frac{q_w \rho_w C_{bw} + q_o \rho_o C_o}{V\rho} \end{aligned}$$

## 2. Nutrientes:

$$\begin{aligned} & \phi \frac{\partial}{\partial t} (\theta_w \rho_w C_n) = \phi \frac{\partial}{\partial x} [\theta_w \rho_w D_n \frac{\partial C_n}{\partial x}] - \phi N_{C_n} + \frac{\partial}{\partial x} [\frac{\partial \rho}{\partial x} (C_n \rho_w \lambda_w)] + \\ & \frac{q_n \rho_w C_n}{V\rho} \end{aligned}$$

## 3. Metabólicos:

$$\begin{aligned} & \phi \frac{\partial}{\partial t} (\theta_w \rho_w C_{mw} + \theta_o \rho_o C_{mo} + \sigma_m \rho_r \theta_r) = \phi \frac{\partial}{\partial x} [\theta_w \rho_w D_{mw} \frac{\partial C_{mw}}{\partial x} + \theta_o \rho_o D_{mo} \\ & \frac{\partial C_{mo}}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial x} [\frac{\partial \rho}{\partial x} (C_{mw} \rho_w \lambda_w + \end{aligned}$$

$$C_{mn} \rho_o \lambda_o)] + \frac{q_o \rho_o C_{oo}}{V\rho}$$

## 4. Óleo:

$$\phi \frac{\partial}{\partial t} (\theta_o \rho_o C_{oo}) = \frac{\partial}{\partial x} [\frac{\partial \rho}{\partial x} (C_{oo} \rho_o \lambda_o)] + \frac{q_o \rho_o C_{oo}}{V\rho}$$

## 5. Águas:

$$\phi \frac{\partial}{\partial t} (\theta_w \rho_w C_{ww}) = \frac{\partial}{\partial x} [\frac{\partial \rho}{\partial x} (C_{ww} \rho_w \lambda_w)] + \frac{q_w \rho_w C_{ww}}{V\rho}$$

Quadro de identificação dos componentes

Componente	Fase	Fase	Fase
	Aquosa	Oleica	Absorvidor
Água	$C_{ww}$	----	----
Óleo	----	$C_{oo}$	----
Bactéria	$C_{oo}$	$C_{bo}$	$\sigma_b$
Nutrientes	$C$	----	----
Metabólito	$C$	$C$	$\sigma_m$
Saturação	$\Theta_w$	$\theta_o$	$\theta_r$
Pressão	----	$P$	----

O método que pode ser utilizado com o intuito de simplificar estas equações ordinárias diferenciais, é o método de Euler. Através deste método é possível resolver uma solução analítica, para isso é importante se concentrar em problemas de valor inicial para equações de primeira ordem. A ideia desse método é empregar uma reta tangente que pode ser usada para aproximar os valores de uma função em uma pequena vizinhança do ponto de tangencia.

## METODOLOGIA

De acordo os estudos realizados sobre modelagens matemáticas, foi utilizado o artigo de Desoky, pois ele é o que melhor explica as relações matemáticas que procuram mostrar a redução da porosidade. E baseado nesses estudos, e nos estudos do método de Euler eu desenvolvi um software na linguagem Python versão 2.7.5 desenvolvido com ajuda de computador.

## RESULTADO E DISCUSSÃO

Software de aplicação do método de Euler:

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
import math
```

```
#####
```

```
x0 = 1      #####valor de x0#####
```

```
x1 = 1.1    #####valor de x1#####
```

```
y0 = 1      #####valor de y0#####
```

```

QR = 9      ####quantidade de valores para X e Y###
def f(X,Y): #####
return 2*X+3 ####Coloque a equação da derivada Ex: z'=2*X+3,##
#####coloca apenas o que vem apos a igualdade#####
#####

z=0

listaY = []
listaX = []

h = x1-x0

listaY.append(y0)
listaX.append(x0)

def h():
    return x1 - x0

while z != QR:
    Y = listaY[z]
    X = listaX[z]

    print 'para X = %.5f'%X
    print 'Y = %.5f' %Y
    print '#####'

    z = z+1

    #yk+1 = yk + h*f(xk,yk)
    Yprox = Y + h()*f(X,Y)
    listaY.append(Yprox)
    listaX.append(X+h())

print 'para X = %.5f'%listaX.pop()
print 'Y = %.5f' %listaY.pop()

```

Primeira parte do software:

Esta primeira parte do código traz a biblioteca utilizada e os parâmetros iniciais para a execução das rotinas do programa. Nela o usuário deve setar os respectivos valores de  $x_0$ ,  $x_1$ ,  $y_0$ , quantidade de resultados que se deseja e a equação que se pretende trabalhar.

```
import math

#####

x0 = 1      #####valor de x0#####

x1 = 1.1    #####valor de x1#####

y0 = 1      #####valor de y0#####

QR = 9      #####quantidade de valores para X e Y#####

def f(X,Y): #####

    return 2*X+3 #####Coloque a equação da derivada Ex: z'=2*X+3,#####

#####coloca apenas o que vem apos a igualdade#####

#####
```

Segunda parte do software:

Este trecho de código é responsável pela inicialização de uma variável auxiliar Z, de uma lista de valores para Y, já com  $y_0$  inserido nela e uma lista com os valores de X, já com o  $x_0$  inserido.

```
z=0

listaY = [y0]

listaX = [x0]
```

Terceira parte do software :

É responsável pela criação da função  $h()$ . Essa função retorna o valor do passo ( $h$ ), resultante do valor de  $x_1 - x_0$ , quando é chamada no restante do código.

```
def h():

    return x1 - x0
```

Quarta parte do software:

É a função responsável por imprimir os valores de X e seus respectivos Y

```
def imprime(X,Y):
```

```
    print 'para X = %.5f'%X

    print 'Y = %.5f' %Y

    print '#####'
```

Quinta parte do software:

Esta é a parte mais importante do código pois ela que executa o objetivo em si. Ela funciona como um laço condicional, esse laço executará o mesmo código até atingir o número de resultados pedido pelo usuário. Logo abaixo as variáveis Y e X são igualadas as suas respectivas listas, inicializadas no começo do código, na posição z, também inicializado no começo do código como zero, e é chamada a função para imprimir os valores de X com o respectivo Y. Feito isso, z é incrementado em uma unidade. Na linha seguinte o próximo valor de Y ( $Y_{k+1}$ ) é igualado ao seu valor anterior somado por h vezes a equação definida no começo do código. Feito isso os valores de x e y são inseridos em suas respectivas listas e o processo desse trecho será repetido novamente até que sejam computado a quantidade de valores para X e Y que o usuário solicitou.

```
while z != QR:
    Y = listaY[z]

    X = listaX[z]

    imprime(X,Y)

    z = z+1

    # $y_{k+1} = y_k + h*f(x_k, y_k)$ 

    Yprox = Y + h()*f(X,Y)

    listaY.append(Yprox)

    listaX.append(X+h())
```

O método de Euler, é um procedimento numérico para aproximar a equação a solução da equação diferencial

$$Y' = f(t, y)$$

que satisfaz a condição inicial  $y(t_0) = y_0$ . O objetivo do método de Euler é estender esta solução aproximada a um intervalo maior, quanto menor o tamanho do incremento  $h$  melhor a aproximação.

Para realizar esse software primeiramente foi necessário realizar estudos para uma melhor compreensão a respeito da recuperação de poços de petróleo MEOR, como forma de caracterização de formações suscetíveis deste, caracterizando suas formações. Esses estudos foram de grande importância para tentativa de uma formulação matemática que pudesse se adequar de uma maneira melhor ao comportamento dos microrganismos dentro dos poços maduros. Contudo foi necessário o conhecimento do método de Euler, por ser considerado um método simples de resolução. Devido a complexidade, a escassez de parâmetros não foi possível atingir todos os objetivos no tempo previsto.

## ANEXO

### 1) Quadro de Identificação

Componente	Fase	Fase	Fase
	Aquosa	Oleica	Absorvida
Água	$C_{ww}$	----	----
Óleo	----	$C_{oo}$	----
Bactéria	$C_{oo}$	$C_{bo}$	$\sigma_b$
Nutrientes	C	----	----
Metabólito	C	C	$\sigma_m$
Saturação	$\Theta_w$	$\theta_o$	$\theta_r$
Pressão	----	P	----

## REFERÊNCIAS

- BANAT I M. 1995. Biosurfactants production and possible uses in microbial enhanced oil recovery and oil pollution.
- CHEN, G., AND STREVETT, K. A. 2001. "IMPACT OF SURFACE THERMODYNAMICSON BACTERIAL TRANSPORT." ENVIRON. MICROBIOL., 3, 237-245.
- DESOUKY SM, ABDEL-DAIM MM, SAYYOUH MH, DAHAB AS. 1996. Modelling and laboratory investigation of microbial enhanced oil recovery. *J Pet Sci Engng* 15,309-20.
- Duarte, S.M.2003. Caracterização de Bactérias Produtoras de Rhamnolipídeos Isoladas de Poços de Petróleo. Recife, 3-16.

- PIROLLO Santos MP. 2006. Estudos da Produção de Biossurfactantes utilizando Hidrocarbonetos. Tese UEP, São Paulo, 8-56.
- SEN R. 2008. Biotechnology in petroleum recovery: the microbial EOR. *Prog Energy Combust Sci* **34**:714-24.
- THARANIVASAN A K, YANG C, GU Y. 2004. Comparison of three different interface mass transfer models used in the experimental measurement of solvent diffusivity in heavy oil. *J Petrol Sci Engng* **44**:269–82.