

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Ana Carolina Alves Abreu**

**Otimização do Cronograma de Ativação dos Poços de  
Petróleo por Algoritmos Genéticos**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio.

Orientador: Marco Aurélio C. Pacheco  
Co-Orientador: Eugênio Silva

Rio de Janeiro

Abril de 2012



**Ana Carolina Alves Abreu**

**Otimização do Cronograma de Ativação dos Poços de  
Petróleo por Algoritmos Genéticos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Marco Aurélio Cavalcanti Pacheco**  
**Orientador**

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

**Prof. Eugênio da Silva**  
**Co-Orientador**

ICA/DEE/PUC-Rio

**Prof. Juan Guillermo Lazo Lazo**

ICA/DEE/PUC-Rio

**Prof. João Carlos Ribeiro Plácido**

Departamento de Engenharia Mecânica

**Prof. Antonio Carlos Bittencourt de Andrade Filho**

Petrobras

**Prof. Ricardo de Melo e Silva Accioly**

UERJ

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 09 de abril de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Ana Carolina Alves Abreu**

Graduou-se em Engenharia de Petróleo pela UNISUAM (Centro Universitário Augusto Motta) em 2009. Desenvolveu junto com seus orientadores diversos projetos de pesquisa sobre a aplicação de métodos de Inteligência Computacional para a tomada de decisões na área de Exploração e Produção (E&P) de Petróleo.

Abreu, Ana Carolina Alves

Otimização do cronograma de ativação dos poços de petróleo por Algoritmos Genéticos / Ana Carolina Alves Abreu ; orientador: Marco Aurélio C. Pacheco ; co- orientador: Eugênio da Silva. – 2012.  
92 f. : il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Otimização. 3. Algoritmos genéticos. 4. Reservatórios de petróleo. 5. Cronograma de abertura de poços. I. Pacheco, Marco Aurélio C. II. Silva, Eugênio. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

A Deus toda honra e glória.  
Ao meu marido, amigo e companheiro.  
Aos meus pais por toda criação e educação.  
À minha avó pelo amor incondicional.

## Agradecimentos

Agradeço a Deus, por ter me dado vida e saúde.

Ao Professor Marco Aurélio Pacheco pela orientação e oportunidade de poder fazer parte da equipe do Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada (ICA).

Ao Eugênio pela orientação, paciência e estímulo na realização deste trabalho.

À Dilza de Mattos Szwarcman, ao Juan Lazo Lazo e ao Bruno Messer pelos conhecimentos transmitidos e sugestões fornecidas durante o desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES, ao CNPQ e à PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À Petrobras, em especial ao Eng. João Carlos Ribeiro Plácido, pelo apoio técnico.

A todos os meus colegas do ICA que nesses últimos anos me transmitiram seus conhecimentos para que eu pudesse crescer e progredir

Aos meus amigos e familiares que de alguma forma me estimularam e me ajudaram.

## Resumo

Abreu, Ana Carolina Alves; Pacheco, Marco Aurélio C.; Silva, Eugênio da. **Otimização do Cronograma de Ativação dos Poços de Petróleo por Algoritmos Genéticos**. Rio de Janeiro, 2012. 92p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Uma das tarefas mais importantes da Engenharia de Reservatórios é definir a estratégia de produção. Isso significa estabelecer, dentre outras coisas, quantidade, características, localização, planejamento operacional e cronograma de abertura dos poços, a fim de maximizar a recuperação de óleo e o valor presente líquido (VPL) do projeto. Assim, a definição da melhor estratégia de produção representa um problema de otimização complexo, devido à quantidade de variáveis envolvidas. Geralmente, muitas dessas etapas são executadas manualmente, demandando assim muito tempo e esforço por parte do especialista. A disponibilidade de uma ferramenta computacional, que possa auxiliar o especialista em parte desse processo, pode ser de grande utilidade tanto para a obtenção de respostas mais rápidas, quanto para a tomada de decisões mais acertadas. Diante disso, este trabalho propõe um modelo computacional, baseado em Algoritmos Genéticos, para otimizar o cronograma de abertura de poços, considerando restrições técnicas e operacionais impostas pelo problema. O modelo proposto foi avaliado por meio do estudo de três casos. O primeiro consiste em um reservatório simples que foi utilizado, principalmente, para identificar a configuração mais adequada dos parâmetros evolutivos do algoritmo genético. O segundo, que consiste em um reservatório com características similares às de um reservatório real, foi submetido a uma análise econômica para avaliar o desempenho do modelo de solução diante de cenários econômicos: real, favorável e desfavorável. Em todos os testes realizados, o modelo de solução obteve resultados promissores, com VPL's superiores em até 18,8% comparados ao VPL obtido com o cronograma proposto pelo especialista.

## Palavras-chave

Otimização; Algoritmos Genéticos; Reservatórios de Petróleo; Cronograma de Abertura de Poços.

## Abstract

Abreu, Ana Carolina Alves; Pacheco, Marco Aurélio C.(Advisor); Silva, Eugênio da (Co advisor). **Optimization of Wells Opening Schedule by Genetic Algorithms**. Rio de Janeiro, 2012. 92p. MSc. Dissertation— - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

One of the most important tasks of Reservoir Engineering is setting the production strategy. That means establishing, among other things, amount, character, location, operational planning and well opening scheduling in order to maximize oil recovery and net present value (NPV) of the project. Thus, the definition of the best strategy for production represents a complex optimization problem due to the many variables involved. Generally, many of these steps are performed manually, requiring so much time and effort on the part of the expert. The availability of a computational tool that can assist the expert part of this process, may be useful both to obtain faster responses, as for making better decisions. Thus, this work proposes a computational model based on genetic algorithms to optimize the schedule of digging wells, considering technical and operational constraints imposed by the problem. The proposed model was evaluated by the study of three cases. The first consists of a single reservoir that was used primarily to identify the most suitable configuration of parameters evolutionary genetic algorithm. The second, consisting of a reservoir with characteristics similar to those of a real reservoir, was subjected to an economic analysis to evaluate the performance of the model solution in the face of economic scenarios: real, favorable and unfavorable. And the third is in a real reservoir. In all tests, the model solution obtained promising results, with higher NPV's up 18.8% compared to the NPV obtained with the schedule proposed by the expert.

## Keywords

Optimization, Genetic Algorithms; Petroleum Reservoirs; Well Opening Schedule.

## Sumário

1	Introdução	10
1.1	Contexto Geral	10
1.2	Motivação	10
1.3	Objetivos	11
1.4	Contribuições	12
1.5	Descrição da Dissertação	12
1.6	Organização da Dissertação	13
2	Gerenciamento do Campo de Petróleo	14
2.1	Plano de Desenvolvimento para Campos de Petróleo	14
2.1.1	Cronograma de Abertura de Poços	16
2.1.1.1	Mecanismos de Produção de Reservatórios	18
3	Métodos de Otimização	29
3.1	Computação Evolucionária	31
3.1.1	Algoritmos Genéticos	31
4	Modelo de Solução	37
4.1	Módulo Otimizador	38
4.1.1	Restrições	38
4.1.2	Representação da Solução	39
4.1.3	Decodificação	40
4.1.4	Geração da População Inicial	41
4.1.5	Operadores Genéticos	41
4.1.5.1	Cruzamento	42
4.1.5.2	Mutação	44
4.2	Módulo Simulador	45
4.3	Módulo Avaliador	46
4.4	Detalhes de Implementação	49

5	Estudo de Casos	51
5.1	Reservatório Homogêneo	51
5.1.1	Teste 1	53
5.1.2	Teste 2	56
5.1.3	Teste 3	59
5.1.4	Teste 4	62
5.2	Reservatório Heterogêneo	64
5.2.1	Teste 1	68
5.2.2	Teste 2	70
5.2.3	Teste 3	73
5.2.4	Teste 4	76
5.2.5	Teste 5	78
5.2.6	Teste 6	80
5.3	Reservatório Real	83
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	86
7	Referências Bibliográficas	89