

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

Na engenharia de reservatório (Crichlow, 1977), otimizar a exploração de um reservatório petrolífero significa desenvolver uma estratégia que permita produzir a maior quantidade de hidrocarboneto possível dentro dos limites físicos e econômicos existentes. Os dois principais fatores determinantes do nível de produção são: o sistema de exploração a ser instalado e o reservatório geológico existente.

Na visão de projetos de exploração, a otimização da exploração de um reservatório petrolífero visa a encontrar estratégias de produção que sejam economicamente mais rentáveis. Com este objetivo, o engenheiro intervém nos poços executando operações de isolamento de intervalos produtores, abertura de novos intervalos, acidificações<sup>1</sup>, fraturamentos<sup>1</sup>, testes de formação para coleta de dados, e tantas outras operações de restauração. Entretanto, os altos custos associados a essas operações com intervenções nos poços, sobretudo em reservatórios offshore com completação molhada, podem inviabilizar algumas dessas operações e levar a um gerenciamento não otimizado do reservatório.

Como alternativa, surge o conceito de poços inteligentes que se propõe a baratear as operações de restauração mais corriqueiras, tais como o isolamento e a abertura de novos intervalos produtores, além do monitoramento em tempo real dos dados de produção – vazões, pressões e temperatura – permitindo um gerenciamento melhor do reservatório.

A completação inteligente pode ser definida como um sistema capaz de coletar, analisar e transmitir dados para o acionamento remoto de dispositivos de controle de fluxo, com o objetivo de conseguir otimizar a produção do reservatório. Entretanto, esta tecnologia tem um custo associado em geral bastante alto, aliado ao fato de ser relativamente recente sem muitos dados relativos a sua confiabilidade e melhor forma de utilização, o que tem criado um

1 - Acidificações e Fraturamento são operações de estimulação, ou seja, qualquer operação ou intervenção realizada em uma jazida portadora de hidrocarboneto, de forma a aumentar sua permeabilidade, facilitando o escoamento de fluido da rocha para o poço.

certo receio em aprovar sua implantação, especialmente por não existir ainda uma metodologia padronizada para o cálculo de seus benefícios.

Assim, o problema que surge neste contexto é, dado um reservatório petrolífero pronto para ser explorado ou pronto para realizar mais investimentos em expansão, há a necessidade de uma metodologia que permita auxiliar ao especialista na tomada de decisão entre investir em poços inteligentes ou investir em poços convencionais. Para apoiar essa decisão, levando em consideração as possíveis combinações de operação das válvulas existentes em poços inteligentes, e os diversos perfis de produção que podem ser gerados, sugere-se a aplicação de uma metodologia de otimização de operação dessas válvulas.

Na literatura, encontram-se trabalhos que abordam o problema de otimização de operação de válvulas em poços inteligentes utilizando métodos de otimização clássicos (gradiente decrescente, gradiente conjugado e gradiente conjugado não linear) (Yeten,2002, Yeten,2003, Khargoria,2002). Entretanto, se o número de válvulas ou segmentos de cada poço a ser otimizado aumenta, ou vários poços são considerados na otimização, o problema torna-se bastante complexo, dificultando a sua abordagem através dos métodos clássicos de otimização. Neste caso, o uso de algoritmos genéticos (Goldberg, 1989, Michalewicz,1996) como método de otimização torna-se uma estratégia interessante. Gai (2001) em seu trabalho de otimização de controle de fluxo em poços multilaterais, concluiu seu estudo indicando que não houve grandes avanços em ferramentas para otimização do desempenho de poços inteligentes nos últimos tempos, e indica o uso de tentativa e erro pela indústria no controle desses poços.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo desse trabalho é investigar e propor um sistema de apoio a decisão sob incertezas de falha e geológica, baseado em algoritmos genéticos (AG) (Goldberg, 1989) e simulação Monte Carlo (SMC) (Boyle, 1997, Hammersley, 1964), para ser empregado no desenvolvimento e gerenciamento de reservatórios inteligentes de petróleo, buscando otimizar estratégias ótimas de produção e apoiar a tomada de decisão pelo uso de poços inteligentes em um dado reservatório.

O sistema otimiza o controle de válvulas, através da determinação do estado das válvulas encontradas em uma alternativa, para determinados períodos de tempo ao longo do processo de exploração de um reservatório, buscando o aumento do valor presente líquido (VPL).

A otimização levando em consideração incertezas técnicas tem como objetivo obter um VPL otimizado médio para os diversos cenários gerados na simulação Monte Carlo, e com isso ter uma análise econômica do uso de poços inteligentes mesmo considerando a possibilidade de ocorrerem falhas nos dispositivos desses poços.

A otimização levando em consideração incerteza geológica tem como objetivo obter uma configuração do estado das válvulas, para determinados períodos de tempo ao longo do processo de exploração do reservatório, que na média represente a melhor solução para três cenários geológicos do reservatório em questão (cenário otimista, cenário pessimista e cenário conservador).

Assim, o objetivo do sistema é obter uma comparação econômica entre o uso de poços convencionais e de poços inteligentes considerando, nestes últimos, operação otimizada, incertezas de falha e geológica. A partir destas comparações, o decisor obtém subsídios para tomar a decisão de usar ou não poços inteligentes em um projeto de produção petrolífera, além de obter o controle otimizado das válvulas existentes nos poços inteligentes.

### **1.3 Contribuições**

A principal contribuição desse trabalho vem da convergência de modelos de otimização e tratamento de incertezas, na área de engenharia de reservatórios de petróleo, através da definição de um sistema baseado em algoritmos genéticos (AG) e simulação Monte Carlo (SMC), capaz de otimizar uma estratégia de controle de válvulas, existentes em poços inteligentes de uma dada alternativa de produção, e dar suporte à tomada de decisão pelo uso ou não de poços inteligentes, considerando incertezas de falha e geológica.

Especificamente, o trabalho envolve modelagem e avaliação de um sistema capaz de:

- otimizar a estratégia de controle de válvulas existente em poços inteligentes de uma dada alternativa, através de algoritmos genéticos (AG);

- considerar incerteza geológica, ou seja, dados os cenários geológicos (otimista, pessimista e conservador) de um reservatório encontrar uma estratégia que na média seja a melhor para os diferentes cenários; e
- considerando incertezas de falhas no processo de otimização de controle de válvulas através do uso de simulação Monte Carlo, apoiar na tomada de decisão pelo uso ou não de poços inteligentes em um determinado reservatório.

#### **1.4 Descrição da Tese**

Esta pesquisa foi elaborada nas seguintes etapas:

- Um estudo sobre as características do desenvolvimento de reservatórios petrolíferos e poços inteligentes;
- Um estudo sobre otimização utilizando computação evolucionária (Algoritmo Genético, Algoritmos Genéticos Distribuídos);
- Modelagem de um sistema de apoio a decisão compreendido por:
  - a) um modelo genético para otimização do controle pró-ativo (ver seção 4.1.2) de válvulas de poços inteligentes;
  - b) tratamento de incertezas técnicas dos poços inteligentes, através do uso de simulação Monte Carlo;
  - c) tratamento de incerteza geológica, através do uso de três cenários geológicos (otimista, pessimista e conservador) do reservatório em questão. A função de avaliação do processo de otimização é o cálculo do VPL;
- Estudo de casos;

A seguir é apresentada uma breve descrição de cada uma das etapas realizadas.

O estudo sobre as características do desenvolvimento de reservatórios petrolíferos e poços inteligentes envolveu uma pesquisa bibliográfica e consultas a especialistas da área sobre: o uso de poços inteligentes no desenvolvimento de reservatórios petrolíferos, as principais características e estratégias no uso desses poços, a representação desses poços no simulador IMEX (CMG, 2000a), as incertezas técnicas levadas em consideração nessa tecnologia, e a forma de se representar incerteza geológica em reservatórios de petróleo.

No estudo sobre otimização utilizando Computação Evolucionária foram levantados os conceitos básicos e a potencialidade dos Algoritmos Genéticos

dado que métodos de otimização clássicos, já empregados no problema em questão, como gradiente decrescente, gradiente conjugado e gradiente conjugado não linear, possuem limitações quando o número de variáveis a serem otimizadas cresce e o problema torna-se mais complexo. Também se pesquisou sobre arquiteturas de Algoritmos Genéticos distribuídos, visando a distribuição do processo no modelo híbrido do AG com Simulação Monte Carlo, dado que o número de simulações nesse caso requer um alto custo computacional.

A modelagem do sistema consistiu na definição de: um módulo otimizador utilizando algoritmos genéticos, capaz de determinar o estado das válvulas encontradas em uma alternativa, para determinados períodos de tempo ao longo do processo de exploração do reservatório; um módulo de tratamento de incertezas técnicas, que utiliza simulação Monte Carlo e uma função de distribuição de probabilidade para representar essa incerteza; um módulo para tratamento de incerteza geológica; um simulador de reservatório capaz de fornecer as curvas de produção da otimização em questão; e um módulo contendo uma função de avaliação que, com base nas curvas de produção de óleo e água, é capaz de fornecer o VPL da alternativa.

No estudo de casos são apresentados os resultados dos testes realizados com o sistema desenvolvido nesse trabalho. Os testes foram realizados em três reservatórios de petróleo, sendo um simples e sintético e os outros com grau de complexidade e características bem próximos a um reservatório real.

## **1.5 Organização da Tese**

Esta tese está dividida em cinco capítulos adicionais, descritos a seguir.

No capítulo 2 são destacadas as características importantes sobre poços inteligentes no desenvolvimento de reservatórios de petróleo.

No capítulo 3 descreve-se a técnica de inteligência computacional utilizada neste trabalho, Algoritmos Genéticos. São descritos os conceitos básicos de algoritmos genéticos, seus parâmetros e operadores genéticos. Descreve-se também uma arquitetura de Algoritmos genéticos distribuídos, necessário devido ao grande número de simulações exigidas (AG + SMC), e ao alto custo computacional gerado com o uso de um simulador de reservatório compondo a função de avaliação do AG.

O capítulo 4 apresenta o sistema proposto nesse trabalho, isto é, um sistema híbrido de otimização de controle de válvulas, considerando incertezas de falha e geológica, envolvendo o uso de Algoritmos genéticos e Simulação Monte Carlo unida à técnica de aceleração de convergência.

O capítulo 5 descreve os estudos de casos realizados em três reservatórios de petróleo. Dois reservatórios possuem grau de complexidade e características bem próximos a reservatórios reais. O outro reservatório utilizado nos testes é mais simples, criado especificamente para avaliação do controle das válvulas, dado que o resultado ótimo para este reservatório é relativamente conhecido. Também são apresentadas as discussões dos resultados encontrados.

Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões e os possíveis trabalhos futuros.