

# 1 Introdução

## 1.1. Motivação

A gestão integrada e otimizada dos processos de Exploração e Produção (E&P) é atualmente considerada estratégica para o avanço do setor petrolífero que, por um lado, se depara com um vasto e crescente arsenal tecnológico, no qual se destacam as inovações na área de Campos Inteligentes, e, por outro, com desafios grandiosos tal qual a exploração da camada pré-sal recentemente descoberta no litoral brasileiro. Nesse contexto, a aplicação de sistemas e modelos computacionais inteligentes se apresenta como um elemento fundamental para o melhor emprego e conseqüente aproveitamento de tais tecnologias na otimização da produção e dos recursos utilizados.

Uma tarefa inicial na gestão da exploração petrolífera é desenvolver uma estratégia para alcançar a produção de maior quantidade de hidrocarboneto possível dentro dos limites físicos e econômicos existentes. Frequentemente, a solução operacional para o problema de desenvolvimento de um campo de petróleo não é ótima, mas somente um resultado viável que satisfaz as restrições operacionais em um momento específico. Isto porque o engenheiro de reservatório deve considerar várias hipóteses para alcançar a melhor estratégia para o problema de desenvolvimento do campo. Cada hipótese pode gerar várias outras, fazendo com que o processo produza uma árvore de hipóteses, originando cada vez mais dados a serem analisados (BITTENCOURT 1997).

O problema consiste na definição da estratégia de drenagem de um campo, considerando o número de poços produtores e injetores que deverão ser perfurados, a posição e a geometria (vertical, horizontal ou direcional) do poço e das suas laterais de modo a se produzir o máximo de óleo com o menor custo.

O número de variáveis desse problema é proporcional ao número de poços que se planeja alocar e seu espaço de busca está relacionado com o tamanho (número de células) do reservatório. A escolha dos valores das variáveis é um

problema de otimização. Dependendo do número de variáveis e do tamanho do espaço de busca é inviável enumerar todas as possíveis soluções (ALMEIDA 2003).

Um reservatório de petróleo é considerado como um espaço tridimensional com as coordenadas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Esse espaço é discretizado em um *grid* de coordenadas  $I$ ,  $J$ ,  $K$ . As propriedades físicas do reservatório são associadas às células do *grid*. Algumas células não possuem características físicas associadas e são consideradas como *nulas*, outras possuem características insuficientes para serem consideradas como produtoras e são consideradas como *pinch out*. Essas células do *grid* não podem receber poços e indicam uma restrição no domínio do problema em relação as coordenadas  $I$ ,  $J$ ,  $K$ . Outras restrições estão associadas ao comprimento, ângulo e distância dos poços no espaço  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (EMERICK 2009).

As técnicas de computação evolucionária têm sido utilizadas para resolver problemas de posicionamento de poços por algumas aplicações (PACHECO 2009), (EMERICK 2009), (TÚPAC 2005), (ALMEIDA 2003), (YETEN 2003), (TÚPAC 2002) e (BITTENCOURT 1997).

Uma das técnicas evolucionárias, Algoritmos Genéticos (AG), é um método de busca e otimização utilizado para procurar soluções de problemas complexos e com espaço de soluções muito grande, problemas de difícil modelagem e difícil solução quando comparados com métodos de otimização convencionais. Algoritmos Genéticos tendem convergir para bons resultados em tempos viáveis. Algoritmos Genéticos é uma técnica que pode ser adequada à realidade de cada problema, podendo trabalhar com funções não lineares, descontínuas e com restrições e podendo ajustar o tempo disponível para a busca.

## 1.2. Objetivos

O objetivo desta pesquisa é investigar e propor um sistema de apoio a decisão, baseado em computação evolucionária, capaz de propor e otimizar alternativas de produção contendo poços multilaterais em reservatórios petrolíferos. O sistema irá determinar a quantidade, localização, tipo e geometria de poços, produtores e injetores, os quais poderão ser verticais, horizontais, direcionais ou multilaterais. No caso de poços multilaterais, o sistema determinará

o número de laterais existentes no poço e suas localizações e geometrias. O especialista definirá restrições de construção como o número máximo de poços, número máximo de laterais que um poço poderá ter, bem como o comprimento máximo de cada poço e lateral.

Para que um processo de otimização possa ser aplicado nesse problema, é necessário definir uma função objetivo a ser minimizada ou maximizada pelo processo. No problema em questão, a função objetivo a ser maximizada é o Valor Presente Líquido (VPL). Outro objetivo do trabalho é determinar como calcular esse VPL.

A implementação de técnicas de otimização para otimização de poços em reservatórios costuma ter problemas de escalabilidade do número de poços e do número de células do reservatório, assim como problemas com as restrições. Outro objetivo desse trabalho é fazer com que o modelo seja capaz de trabalhar com reservatórios reais e utilizar de paralelismo para distribuir as simulações quando tratar problemas maiores.

### **1.3. Descrição da Dissertação**

Esta pesquisa foi estruturada em função dos seguintes passos: um estudo sobre a área de exploração de petróleo; um estudo sobre os modelos e técnicas de inteligência computacional empregadas nesta área; um estudo para criação de operadores de algoritmos genéticos dedicados para otimização de poços de petróleo; um estudo para geração de alternativas que cumpram as restrições para que essas sejam utilizadas como semente inicial do processo evolutivo; a definição da estrutura de um modelo de Algoritmos Genéticos através de testes com diferentes configurações de cromossomo; a construção de modelos de reservatório, onde a alternativa ótima é conhecida, para testes de convergência; testes de convergência de um modelo selecionado dentre os criados; teste comparativo com alternativas criadas por especialistas; teste comparativo com sistema de otimização de reservatórios já publicado.

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

O estudo sobre a área de desenvolvimento de reservatórios de petróleo envolveu uma pesquisa bibliográfica e consultas a especialistas da área sobre a forma como o trabalho de desenvolvimento de um campo de petróleo é conduzido, quais características devem ser levadas em consideração, a existência de restrições, como avaliar uma alternativa criada para explorar um reservatório e a participação em um curso sobre o uso de simulador.

O estudo das técnicas de inteligência computacional empregadas nesta dissertação, em particular, dos Algoritmos Genéticos teve seu foco no tratamento de restrições e nas formas de lidar com problemas complexos.

O estudo para criação de operadores de algoritmos genéticos dedicados para otimização de poços de petróleo teve por objetivo melhorar a eficiência do algoritmo e permitir melhor tratamento das restrições, assim como permitir a flexibilidade de se evoluir alguns parâmetros e manter outros fixos. Isso significa, permitir a otimização somente de poços verticais ou manter o número de poços produtores e injetores constante.

Devido à complexidade do problema e a existência de restrições, a inicialização aleatória da população inicial exige um tempo muito longo, e em alguns casos pode não acontecer. Para resolver esse problema foi conduzido um estudo no sentido de gerar alternativas válidas, que cumpram as restrições, para serem utilizadas como semente inicial na população no início do processo evolutivo.

A definição da estrutura de um modelo de Algoritmos Genéticos, através de testes com diferentes configurações de cromossomo, foi conduzida para verificar o melhor modelo de cromossomo (representação das variáveis, número de segmentos e populações) capaz de representar o problema.

A construção de modelos testes de reservatório com ótimo conhecido, utilizados para testes de convergência, que foram desenvolvidos de modo a validar o modelo do AG através de casos com fácil interpretação do resultado, mas mantendo a complexidade do problema.

Os testes de convergência de um modelo de AG selecionado, dentre os criados, foram conduzidos indicando uma porcentagem de vezes que o ótimo foi encontrado e a média dos valores encontrados. O objetivo dos testes é indicar a validade da solução gerada pelo modelo de AG selecionado quando utilizado em um reservatório sem o ótimo conhecido. Foram encontrados valores de até 80%

de probabilidade de se encontrar o ótimo e valores médios acima de 90% da produção ótima.

Os testes comparativos com alternativas desenvolvidas por especialistas foram conduzidos em dois reservatórios distintos, um semi-sintético e um real. As alternativas criadas por especialistas não possuem poços multilaterais, então foram comparadas evoluções com e sem o uso de poços multilaterais. Os resultados indicam ganhos de até 34% para as soluções sem poços multilaterais e 37% para soluções com poços multilaterais.

Por fim, foi realizado um teste comparativo entre o sistema desenvolvido neste trabalho e sistemas de otimização de reservatórios já publicados, comparando a eficiência e o resultado final obtido pelos sistemas. Um primeiro teste foi realizado utilizando apenas os tipos de poços que ambos os sistemas são capazes de gerar, com o objetivo de indicar os avanços gerados por essa pesquisa. Um segundo teste é realizado, agora permitindo que o sistema desenvolvido neste trabalho utilize todos os tipos de poços que esse trabalho se propõem a ser capaz de modelar, com o objetivo de indicar o ganho da opção de se permitir diferentes tipos de poços no processo de otimização.

#### **1.4. Organização da Dissertação**

Esta dissertação está descrita em cinco capítulos adicionais, descritos a seguir:

No capítulo 2 são destacadas as características técnicas de engenharia de poço e de engenharia de reservatório de petróleo pertinentes a este estudo.

No capítulo 3 são destacadas as técnicas de inteligência computacional, Algoritmo Genético, e são descritos seus conceitos básicos.

O capítulo 4 apresenta a proposta deste trabalho, o modelo de otimização de alternativas para o desenvolvimento de campos de petróleo utilizando Algoritmos Genéticos.

O capítulo 5 apresenta os estudos de casos, com suas definições e resultados para o modelo criado e comparações com outros modelos.

Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões e propostas de trabalhos futuros.