

# 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.

Mais especificamente, a busca por projetos otimizados e eficientes na produção e desenvolvimento de reservas de petróleo se apresenta como um problema desafiador dentro da Indústria de Óleo & Gás devido à extrema dificuldade presente na resolução desses tipos de problemas, uma vez que se tratam de problemas freqüentemente complexos, com elevado grau de não linearidade, que apresentam alto grau de incerteza e enorme custo computacional envolvido.

O alto custo computacional envolvido nos processos de otimização está relacionado, normalmente, ao uso de simuladores de reservatórios, cuja modelagem envolve muitas variáveis e parâmetros que provêm do conhecimento da engenharia de reservatórios de petróleo. Estas variáveis e parâmetros prefixados são inseridos num sistema de simulação que retorna, entre outras saídas, uma previsão da produção de óleo, gás e água para a configuração especificada (Túpac, 2005). Este processo geralmente exige um grande esforço computacional, uma vez que são aplicados métodos de diferenças finitas para resolver um conjunto de equações diferenciais que modelam as transferências de fluidos dentro do reservatório simulado.

Em Faletti (2007) é desenvolvida uma metodologia de otimização que permite auxiliar o especialista na tomada de decisão entre investir em poços inteligentes ou investir em poços convencionais. Para isso, levam-se em consideração as possíveis combinações de operação das válvulas existentes em poços inteligentes, e os perfis de produção (óleo, gás e água) que podem ser

gerados. Além disso, incertezas técnicas de falhas nas válvulas e incertezas geológicas são levadas em consideração em Faletti (2007), o que aumenta o uso do simulador de reservatório e, conseqüentemente, o custo computacional do processo de otimização aplicado. A necessidade de um grande número de chamadas ao simulador nesse processo de otimização torna inviável seu uso no dia a dia da indústria de petróleo e gás, necessitando que estratégias de computação paralela e de uso de aproximadores de função para simulador sejam aplicadas (Faletti, 2007).

Diversos trabalhos se dedicaram à tarefa de construção de modelos que substituam simuladores na área de engenharia de reservatórios (Artus, 2006) (Túpac, 2005) (Mohaghegh, 1996) (Mohaghegh, 1998), entretanto não se verifica disponibilidade de trabalhos com este mesmo objetivo quando se refere à campos inteligentes.

Neste trabalho, utilizam-se técnicas inteligentes (Pacheco, 2007) (Pacheco, 2008), mais especificamente, Redes Neurais Artificiais do tipo *Multilayer Perceptron (MLP)* com algoritmo de aprendizado com retropropagação do erro (Haykin, 2001) e o modelo híbrido neuro-fuzzy ANFIS (*Adaptive-Neuro-based Fuzzy Inference System*) (Jang, 1993) (Jang, 1997), em conjunto com Projeto de Experimentos Fatoriais Fracionado (Montgomery, 2000) para a construção de um aproximador de função não linear para simulador de reservatório petrolífero em campos inteligentes.

## 1.2. Objetivos

Com este trabalho deseja-se alcançar os seguintes objetivos:

- Construção de aproximador de função preciso para simulador de reservatórios petrolíferos – construir um aproximador de função para a substituição parcial ou integral de um simulador de reservatório (no caso de estudo, o simulador IMEX (CMG, 2000)) em sistemas de otimizações de campos inteligentes, utilizando um modelo formado por técnicas de inteligência computacional – Redes Neurais Artificiais MLP e ANFIS;
- Minimização do custo computacional para obtenção das amostras de treinamento – como conseqüência da utilização do simulador de reservatórios para obtenção das amostras para construção do aproximador, neste trabalho também se utiliza Projetos de

Experimentos Fatoriais Fracionado com intuito de diminuir a quantidade de amostras necessárias para construção do aproximador, sem que haja perda na qualidade das amostras.

Esse aproximador é testado no Sistema Híbrido de Otimização de Estratégia de Controle de Válvulas de Poços Inteligentes sob Incertezas (Faletti, 2007), visando a diminuição do custo computacional do processo de otimização.

Especificamente o trabalho envolveu:

- Modelagem e avaliação do desempenho de modelo neuro-*fuzzy* ANFIS como aproximador de função do simulador de reservatórios IMEX;
- Modelagem e avaliação do desempenho de rede neural artificial *MLP* com algoritmo de aprendizado com retropropagação de erro (*backpropagation*) como aproximador de função do simulador IMEX;
- Utilização de Projeto de Experimentos Fatoriais Fracionado, visando minimizar o conjunto de amostras utilizadas para a construção do aproximador.

### **1.3. Descrição da dissertação**

Esta pesquisa foi elaborada nas seguintes etapas:

- Estudo sobre a área de exploração de petróleo, as características do desenvolvimento de reservatórios petrolíferos e poços inteligentes;
- Estudo sobre os modelos de técnicas de inteligência computacional empregados no trabalho: Redes Neurais Artificiais *MLP* com algoritmo de aprendizado com retropropagação do erro e ANFIS;
- Estudo sobre Projeto de Experimentos, com ênfase no projeto de experimentos fatoriais fracionados;
- Modelagem das técnicas de inteligência computacional, citadas acima, para a construção do aproximador;
- Estudo de casos.

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 pesquisa bibliográfica sobre a forma como o trabalho de desenvolvimento de um campo é conduzido, as necessidades de tempo de resposta das metodologias de apoio à decisão empregadas no desenvolvimento de um campo e o que vem sendo feito para melhorar esse tempo de resposta.

O estudo da inteligência computacional em aproximação de funções abrangeu desde os conceitos básicos de aproximação de funções até as metodologias baseadas em inteligência computacional. Em função deste estudo, as redes neurais do tipo *MultiLayer Perceptron* e o modelo neuro-fuzzy ANFIS foram selecionados, uma vez que têm fornecido excelentes resultados em aproximadores de funções, por serem comprovadamente aproximadores universais (Hornik, 1989) (Cybenko, 1989) (Jang, 1997).

Na etapa de modelagem, primeiramente foi abordado o problema de identificação das variáveis relevantes para a construção de aproximador. Em seguida tratou-se da aquisição e pré-processamento das amostras. A aquisição das amostras para treinamento fornecidas pelo simulador (curvas de produção diária de óleo, gás e água) foi inicialmente realizada de forma aleatória e em seguida utilizando projeto de experimentos fatoriais fracionado, visando minimizar a quantidade de simulações requeridas.

Na etapa de estudo de casos foram realizados diversos experimentos. Os testes foram realizados em dois dos reservatórios petrolíferos estudados em Faletti (2007), sendo um simples e sintético, fornecido por um especialista para o estudo, e o outro com grau de complexidade e características próximas a um reservatório real. Neste último reservatório foi considerado mais de um cenário de configuração de válvulas.

#### **1.4. Organização da dissertação**

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos adicionais, descritos a seguir.

O capítulo 2 descreve as técnicas e modelos utilizados neste trabalho. O capítulo inicia com a descrição da área de projeto de experimentos e, em seguida, apresenta os modelos de inteligência computacional selecionados no trabalho.

O capítulo 3 apresenta a modelagem das técnicas de inteligência computacional aplicadas na construção do aproximador. Também é apresentada a forma como o projeto de experimentos foi utilizado para determinar o número e quais amostras seriam utilizadas para o treinamento do modelo para cada um dos cenários de configuração de válvulas estudado.

O capítulo 4 descreve os estudos de casos realizados em dois reservatórios de petróleo. Um reservatório possui grau de complexidade e características bem próximas a reservatórios reais. O outro reservatório utilizado nos testes é simples e pequeno, criado especificamente para avaliação do controle das válvulas, dado que o resultado ótimo deste reservatório é relativamente conhecido. Também são apresentadas as discussões dos resultados encontrados.

Finalmente, no capítulo 5, são apresentados as conclusões e os possíveis direcionamentos para trabalhos futuros.