

## 7

### Considerações Finais

#### 7.1

##### Conclusões

O ajuste de histórico é um problema de extrema importância no âmbito da Engenharia de Reservatórios e vem merecendo atenção da comunidade científica desde a década de 1960, quando os primeiros trabalhos a respeito do assunto foram publicados ([80], [14]). Desde então, muitas propostas de soluções vêm sendo apresentadas. Contudo, devido à complexidade subjacente ao problema, até o momento ainda não se tem uma solução universal que garanta, em qualquer situação, ajustes satisfatórios tanto das curvas de produção quanto da distribuição dos valores da propriedade de interesse em todo o modelo do reservatório.

Este trabalho procurou dar mais um passo para o avanço da pesquisa no tema ajuste de histórico. Nesse sentido, foi proposta uma solução que combinou, em um modelo computacional, os benefícios das técnicas de Algoritmos Genéticos e de Geoestatística Multiponto. A capacidade dos Algoritmos Genéticos de lidar com problemas complexos de otimização, bem como a capacidade da Geoestatística Multiponto de gerar mapas de propriedades petrofísicas mais realistas, permitiram que o modelo de solução se mostrasse bastante promissor nos casos em que foi aplicado.

No primeiro caso, a melhor solução encontrada proporcionou não apenas um bom ajuste entre as curvas de produção de água dos poços, mas também um mapa cuja distribuição dos valores da propriedade de interesse se aproximou bastante da distribuição desejada. Além disso, nesse mesmo caso, foi possível observar também um ganho de desempenho bastante significativo, quando comparou-se os resultados obtidos com o modelo de solução e os obtidos com a utilização da Geoestatística Multiponto isoladamente.

No segundo caso, o modelo de solução foi aplicado em uma situação em que as curvas de produção dos poços já se encontravam bem ajustadas, mas o mapa da propriedade de interesse apresentava uma conformação bastante distante da desejada. Mesmo diante dessa situação, em que o valor da função

de avaliação variou muito pouco durante o processo de otimização, o modelo ainda foi capaz de encontrar uma solução que não só preservou o ajuste das curvas, mas também apresentou um mapa cuja distribuição dos valores se aproximou melhor da conformação desejada.

Nos casos estudados, o modelo de solução foi utilizado para a otimização de diferentes propriedades. No primeiro foi aplicado à otimização da permeabilidade horizontal e no segundo foi aplicado à permeabilidade vertical. Isso demonstra que o modelo é suficientemente flexível e, portanto, não está restrito a uma ou outra propriedade do reservatório. Vale destacar que a identificação da propriedade de maior importância para o ajuste adequado do modelo de simulação, bem como a imagem de treinamento correspondente, são tarefas atribuídas ao especialista. A flexibilidade do modelo de solução se estende aos tipos de modelos de reservatórios que podem ser processados. Assim, em princípio, não há limitações que impeçam a sua aplicação em casos diferentes dos considerados no estudo.

## 7.2

### Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho representa o estágio inicial da busca por um modelo de solução eficiente para o problema do ajuste de histórico. Mesmo com os bons resultados observados nos casos estudados, há diversas possibilidades de trabalhos futuros que, além de confirmar o potencial do modelo de solução proposto, podem contribuir para que resultados ainda melhores sejam alcançados.

Por ser baseado na técnica de Algoritmos Genéticos, ao longo do processo de otimização o modelo executa uma grande quantidade de simulações com o *IMEX*. Isso torna o processo extremamente moroso e, em alguns casos, pode até mesmo inviabilizá-lo. Entretanto, essa limitação pode ser facilmente contornada. Dentro de um ciclo de evolução do algoritmo genético todas as simulações são independentes, logo, é possível distribuir essa carga de processamento em um parque de máquinas e, com isso, reduzir drasticamente o tempo total de processamento. A tecnologia para essas distribuições é totalmente dominada e há pelo menos quatro alternativas:

- *STarWeb*: uma aplicação *web* para distribuição de tarefas desenvolvida pelo Laboratório ICA da PUC-Rio ([81]);
- *MapReduce*: um *framework* para processamento distribuído pertencente ao projeto *Apache Hadoop*, que desenvolve aplicações de código aberto para computação distribuída, confiável e escalável ([82]);
- *TORQUE*: um gerenciador de recursos com código aberto que permite o controle e a distribuição de tarefas ([83]);

- *HPC (High Performance Computing)*: uma solução para computação de alto desempenho embutida no sistema operacional *MS Windows Server 2008* ([84]);
- *LSF*: um distribuidor de tarefas desenvolvido pela empresa *Platform* ([85]).

Uma vez que o problema de otimização por trás do ajuste de histórico envolve uma quantidade muito grande de parâmetros, é desejável que esse problema seja de alguma forma particionado. Com isso, tem-se um conjunto de problemas menores, com menos parâmetros para serem otimizados e, em princípio, mais simples de serem resolvidos. Esse particionamento se traduz na delimitação de regiões do reservatório de acordo com a influência dos poços. Assim, o ajuste pode se concentrar nas regiões influenciadas por poços mais desajustados. Apesar de o operador de mutação proposto no trabalho privilegiar o ajuste em torno dos poços mais desajustados, a propagação da influência se dá de forma radial em torno do poço e, dependendo da heterogeneidade da propriedade em estudo, essa forma de propagação pode não ser a mais adequada. Uma forma eficiente de delimitar essas regiões é através das informações de volume poroso varrido e volume poroso drenado de cada poço, que podem ser obtidas por meio de um simulador de linhas de corrente ([40], [32], [33]). Além da simplificação, o particionamento do problema permite que se explore ainda mais a possibilidade de distribuição do processamento, pois, há a possibilidade não só de distribuir as simulações com o *IMEX*, mas também de distribuir as instâncias de execução do modelo de solução utilizadas em cada subproblema.

Além das flexibilidades já citadas, o modelo de solução proposto possibilita também a substituição do algoritmo genético tradicional por variações dessa mesma técnica. Isso permite, por exemplo, a utilização de um algoritmo genético com inspiração quântica para o ajuste de parâmetros. Os Algoritmos Genéticos com Inspiração Quântica foram propostos em [86] e se mostraram bastante promissores na resolução de problemas complexos de otimização numérica e com a vantagem de demandar menos avaliações. A necessidade de menos avaliações acarreta uma redução considerável no custo computacional do processo de otimização.

Em todos os experimentos realizados neste trabalho, adotou-se a configuração padrão para a maioria dos parâmetros envolvidos na execução do algoritmo *FILTERSIM*. Logo, uma análise de sensibilidade criteriosa de todos os parâmetros envolvidos pode auxiliar na obtenção de configurações que proporcionem mapas mais realistas. Como complemento dessa análise, a utilização de propriedades condicionantes secundárias nas simulações com o *FILTERSIM*

também pode colaborar para a obtenção desses mapas. Paralelamente, novos operadores genéticos, que tirem maior proveito das simulações com o *FILTERSIM*, podem ser sugeridos. Além disso, uma função de avaliação que privilegie não só as soluções que proporcionem bons ajustes para as curvas de produção, mas também aquelas cujas conformações dos mapas subjacentes estejam de acordo com as características da propriedade de interesse, pode contribuir para o aumento do desempenho do modelo.

Ainda que o modelo possibilite o ajuste de qualquer propriedade do reservatório, durante um processo de otimização ele se limita a ajustar apenas uma delas. O ajuste de mais de uma propriedade de interesse só é possível se houver o conhecimento prévio de uma lei que relacione essas propriedades. Assim, a otimização continua restrita a uma propriedade e as outras são calculadas diretamente a partir da primeira. Para situações em que essa lei não é conhecida, a utilização de uma abordagem co-evolutiva permite o ajuste de mais de uma propriedade ao mesmo tempo. Esse ajuste concomitante também pode proporcionar melhores resultados.

Não menos importante que as sugestões apresentadas, a aplicação do modelo de solução a outros modelos de reservatórios e a outras propriedades é fundamental para consolidar a viabilidade do que foi proposto.

### 7.3

#### Sistema OCTOPUS 2.0

No que diz respeito à construção do sistema *OCTOPUS 2.0*, a próxima etapa do trabalho consiste na migração da funcionalidade de otimização de localização de poços, da versão *1.x* para a versão *2.0*. Com base na arquitetura definida para a versão *2.0*, essa migração implica em extrair essa funcionalidade da versão *1.x* e transformá-la em um módulo que deve ser inserido na versão *2.0*. Posteriormente, esse novo módulo deve ser acoplado aos módulos *Principal* e de *Simulação*, que são responsáveis por fornecer os serviços necessários ao seu funcionamento.

Em seguida, os esforços devem ser voltados para a implementação da camada de visão. Nessa etapa devem ser definidos, criteriosamente, todos os elementos de interface com o usuário, a fim de que o sistema permita o acesso amigável às suas funcionalidades.

Na etapa seguinte, o módulo de *Simulação* deve ser aprimorado a fim de que os modos de distribuição sugeridos na Seção 7.2 sejam contemplados. Esse aprimoramento deve levar em consideração também a utilização de outros simuladores além do *IMEX*.

Por fim, duas novas funcionalidades, que são frutos de pesquisas anteri-

ores, devem ser incorporadas ao *OCTOPUS 2.0*. A primeira ([87]) estende a funcionalidade de otimização de localização de poços, a fim de que também seja levada em consideração a possibilidade a alocação de poços multilaterais. A segunda ([88]) permite o controle ótimo de válvulas em poços inteligentes, de forma a possibilitar o atraso da chegada da frente de água aos poços produtores e o aumento de seus índices de produtividade de óleo.