Conclusões Finais

Dentre as técnicas de mitigação dos gases do efeito estufa (GEE), algumas podem ser aplicadas ao CO₂, como o sequestro e armazenamento de carbono (CCS - *Carbon Capture and Sequestration*). A injeção de CO₂ em reservatórios geológicos é um dos processos para o armazenamento do carbono. A avaliação do risco da injeção de CO₂ para esse propósito é um desenvolvimento ainda em curso. Por essa razão, a preocupação com a avaliação da segurança desse processo manifesta-se na literatura técnica, onde diferentes abordagens para a determinação de critérios de avaliação da segurança são discutidas.

Neste trabalho, uma metodologia semi-quantitativa para avaliação do risco da injeção de CO₂ em reservatórios geológicos é apresentada. Essa metodologia é desenvolvida a partir da criação e utilização de uma matriz de risco. Essa matriz possui em uma direção categorias de severidade ajustadas de forma qualitativa e na outra direção categorias de probabilidade ajustadas a partir de análises probabilísticas. Os valores de risco de uma fonte de perigo são calculados pelo produto de suas severidades com suas probabilidades associadas. As fontes de perigo são problemas relacionados à injeção de CO₂ que são selecionadas para análise de um cenário específico.

A escolha por utilizar categorias de severidade da fonte de perigo ao invés de consequências ambientais, econômicas e à saúde humana é uma abordagem nova no campo de atuação da análise de risco da injeção de CO₂. A preferência por essa abordagem se dá pela quantidade reduzida de informação dos potenciais impactos e danos que a injeção de CO₂ possui. As categorias de severidade são definidas por faixas de níveis de funcionamento de uma fonte de perigo.

Diversos métodos de análise probabilística disponíveis no *software* NESSUS[®] são aplicados na avaliação de um dos problemas associados ao processo de injeção de CO₂: a reativação de falhas geológicas. Essa avaliação é feita em um modelo sintético de reservatório com uma falha geológica através de uma solução analítica simplificada e uma solução numérica em elementos finitos (EF). Esses métodos de análise probabilística são investigados e comparados entre si. O principal ganho dessa etapa do estudo é a verificação da adequação dos métodos probabilísticos estudados para esse tipo de problema.

Com base nos resultados obtidos, destaca-se a família de métodos do valor médio: valor médio (MV - *Mean Value*), valor médio avançado (AMV - *Advanced Mean Value*) e valor médio avançado com iterações (AMV+ -

Advanced Mean Value Plus). Esse conjunto de métodos mostra-se promissor, com acurácia dos resultados e eficiente, uma vez que precisa de poucas simulações, o que é vantajoso para o modelo numérico em EF, que normalmente possui uma função de estado limite complexa e por sua vez necessita de muitos recursos computacionais e de tempo. O método AMV+ permite aumentar a precisão em regiões de interesse, por meio de um refinamento local com reduzido custo computacional. Além disso, esses métodos possibilitam a obtenção de fatores de importância e sensibilidade. Essas informações são ferramentas poderosas na identificação das incertezas mais relevantes e servem para orientar na escolha das variáveis aleatórias (VAs) que podem ter seus dados melhorados. A família de métodos MV é usada na análise probabilística da avaliação da reativação de falhas geológicas de um campo real, mostrando a aplicabilidade e a viabilidade dos métodos na engenharia de reservatórios geológicos.

Ainda nessa etapa do trabalho, os valores mínimos e máximos do intervalo das VAs são estabelecidos como 5% e 95% da função de distribuição acumulada (FDA) do tipo lognormal, respectivamente. É mostrado que para outras formas de ajuste – por exemplo, outros tipos de distribuição e percentuais de probabilidade –, a divergência dos resultados finais é expressiva. Destaca-se que a melhor forma de ajustar os parâmetros geológicos é através de dados estatísticos obtidos a partir de ensaios.

As matrizes de risco preliminar (toda quantitativa) e final (semi-quantitativa) desenvolvidas também são abordagens novas. A matriz formada nas duas direções de modo quantitativo possibilita o uso tanto de severidades quanto de probabilidades definidas através de valores. Como até o momento atual as severidades são de difícil caracterização numérica, a matriz de risco final é formada que modo quantitativo apenas na direção das probabilidades, enquanto que na direção das severidades a caracterização é feita de modo qualitativo. Dessa forma, é possível aproveitar melhor a acurácia da análise probabilística.

A metodologia é aplicada em um estudo de caso ilustrativo. Nessa aplicação, com a avaliação do risco é possível identificar a principal fonte de perigo e ações que podem ser seguidas para melhorar a condição do cenário avaliado, tais como: modificação do valor de poropressão do cenário; aquisição de dados estatísticos mais precisos, concentrando-se nas VAs mais influentes; alteração da metodologia utilizada para a avaliação da fonte de perigo, isto é, escolher uma abordagem mais abrangente e precisa; e elaboração de um plano com técnicas de monitoramento, alerta e remediação.

A metodologia semi-quantitativa para avaliação do risco da injeção de CO₂ para armazenamento em reservatórios geológicos apresenta-se como uma ferramenta poderosa para os analistas e tomadores de decisão, e tem potencial para auxiliar na fase de planejamento de projetos de CCS.

Para dar continuidade à metodologia investigada neste trabalho, recomenda-se:

- Buscar dados mais precisos das variáveis aleatórias através de ensaios laboratoriais, e a partir deles investigar a correlação entre as variáveis e formas de ajuste estatístico.
- Integrar à metodologia uma proposta das categorias de severidade, construída a partir de uma equipe experiente no processo de injeção de CO₂. Essa proposta serviria posteriormente para ser utilizada na falta de experiência do analista ou como base para construção de outras propostas de categorias de severidade.
- Aplicar a metodologia em outros cenários, para se obter mais informações a respeito da metodologia e identificar possíveis melhorias e limitações.
- Aplicar a metodologia em um campo real e em parceria com uma equipe com experiência nesse campo.