10.

Conclusão

O CO₂ corresponde a mais de 70 % dos gases antropogênicos emitidos na atmosfera. Sendo assim, hoje, ele é o maior responsável pelo aquecimento global. Entretanto, como foi apresentado, o CO₂ possui diversos usos, nas mais diversas áreas, desde aumento na produção de alimento a indústrias pesadas, passando pela área de medicina. Mais importante, a vida em nosso planeta depende do ciclo do carbono.

O CO₂ é um gás um tanto peculiar em relação aos gases existentes na atmosfera. A pressão ambiente ele nunca se torna líquido, passando diretamente para o estado sólido quando resfriado. Se mantido na temperatura ambiente e for aumentada a pressão, ele se torna líquido, mas continua sendo compressível. E mais importante, a certas condições de pressão e temperatura facilmente atingidas, ele se torna um fluido supercrítico, com propriedades extremamente úteis.

Um dos maiores usos de CO₂, na questão de quantidade, é a recuperação avançada de petróleo. O CO₂ é utilizado a altas vazões e constantemente, servindo para aumentar a produção de petróleo e podendo também ser armazenado posteriormente. O grande problema do ciclo de CO₂ é a diferença entre a quantidade necessária nas diversas áreas mencionadas e a quantidade fornecida atualmente. Atualmente está sendo emitida uma quantidade muito maior de CO₂ que pode ser reaproveitada.

A alternativa encontrada para tal problema é o seqüestro de carbono. O seqüestro é uma forma de armazenar o CO₂ por um longo período de tempo, ou até que se descubra uma necessidade para tal ou que se tenha uma solução mais permanente. O seqüestro de carbono ainda possui áreas onde há necessidade de conhecimento aprofundado ou mesmo tempo para conhecer as conseqüências de seus diversos métodos. Mas devido à urgência de uma solução para os problemas dispostos, tem crescido o número de pesquisas sobre o assunto.

O melhor método de transportar grandes quantidades de CO₂, seja de forma contínua ou intermitente, é o transporte por dutos. Os dutos permitem altas vazões

e pressões, além de maior segurança no transporte. Entretanto, para fins de menores quantidades e também como volume complementar, o uso de navios para transporte de CO₂ também é utilizado.

O transporte de CO₂ é feito primariamente na fase densa, sendo muito comum o envio no estado supercrítico. Isso se deve em grande parte devido aos métodos de captura e liquefação de CO₂, que ao comprimi-lo acabam por consequência aquecendo. Nem todos os métodos, entretanto, levam o CO₂ ao estado crítico. Neste caso, ele é transportado como líquido.

Após algumas tentativas frustradas de validar uma modelagem do transporte de dióxido de carbono supercrítico por dutos, e de conversas com pessoas do meio, foi possível determinar que as atuais equações de estados, presentes ou não em *software* comerciais de transporte de dutos não atende satisfatoriamente o escoamento neste estado. Preferiu-se então concentrar-se no transporte de CO₂ no estado líquido, ainda na região densa.

Para avaliar melhor as vantagens do transporte do CO₂ no estado líquido ao invés do estado gasoso, foi feito um levantamento, através de simulações termo-hidráulica, das vantagens do transporte de CO₂ na forma líquida sobre a forma gasosa. Após a compressão inicial necessária que, dependendo do método de captura, já seria feita, os dutos de líquido são muito mais eficientes, requerendo um diâmetro menor e por consequência mais barato. Devido ao transporte na forma gasosa ser limitado pela linha de pressão de vapor do CO₂, há uma alta ineficiência, se comparado ao transporte na fase líquida, além da perda de carga para a mesma quantidade de CO₂ líquida ser muito maior.

A validação da modelagem do escoamento do CO₂ no estado líquido ocorreu através de um projeto no Vietnã. As dificuldades do modelo, por ter dutos paralelos de diâmetros distintos e a falta de dados mais específicos de projetos levantaram questões interessantes do efeito da temperatura e pressão durante o escoamento.

O caso estudado do Brasil infelizmente não foi validado, devido à variação do calor específico durante o estado supercrítico, apresentado previamente, a mudança deste estado para o estado líquido e a falta de uma modelagem

matemática para atender esses critérios. Entretanto, aproveitando-se de parte da modelagem do duto (sem os dados de temperatura de envio, vazão máxima e considerando o escoamento isotérmico), levou a uma discussão interessante de como são feitos os projetos de CO₂ atualmente. A consideração do CO₂ como fluido incompressível pode levar a erros graves, como o dimensionamento do sistema de segurança, e do sistema de compressão, como foi mostrado no item 9.3.

Aumenta cada vez mais a preocupação com o armazenamento do CO₂ no mundo. Além disso, o uso do CO₂ para a recuperação avançada de petróleo se torna cada vez mais difundida numa sociedade que está longe de se desvencilhar da sua alta dependência do petróleo e da queima de combustíveis fósseis. A tendência é de cada vez mais aumentar a necessidade do transporte de CO₂ pelo mundo afora. É de suma importância, portanto ter um bom entendimento técnico do transporte do mesmo, e das possíveis alternativas que podem surgir.

10.1.

Sugestões para trabalhos futuros

- Desenvolvimento de metodologia para o cálculo do escoamento do CO₂ no estado supercrítico, tanto para o CO₂ puro como para diversas impurezas. Além disso, uma modelagem bifásica ou mesmo trifásica para estes escoamentos em malha garantiria uma maior segurança nas operações dos dutos de CO₂.
- Elaboração de equações para o efeito do escoamento supercrítico em poços injetores, tanto para os casos de EOR como de CSS.
- Estudo detalhado de dutos para o despejo de CO₂ no assoalho marítimo para a formação de lagos de CO₂.
- Maior pesquisa sobre os efeitos projetados do armazenamento de CO₂ no mar no longo prazo. Efeitos na biologia marítima, acidificação das águas, mudança de correntes marítimas.
- Pesquisa na redução do custo energético na carbonatação mineral do CO₂, assim como desenvolvimento de melhores tecnologias para o mesmo.