

Regeneração de Monoetilenoglicol em Unidade de Gás Natural: Comparação dos Simuladores *Aspen Plus* e *OLI Flowsheet*: *ESP*

José Valmir Guerra Neto^{a,*}, Mário Hermes de Moura-Neto^a, Osvaldo Chivavone-Filho^a

^aUniversidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química, Natal-RN, Brasil
*jvalmirneto2@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta a simulação, no *Aspen Plus*, de uma unidade de regeneração de monoetilenoglicol (MEG) do campo de Mexilhão, adotando o arranjo *Full-Stream* sem coluna de destilação atmosférica (ADC). O estudo compara o *Aspen Plus* com um caso de referência previamente avaliado no *OLI Flowsheet*, com foco na robustez do *Aspen Plus* para representar o sistema Água + MEG + NaCl e na sensibilidade da predição da demanda energética. Foram avaliadas três composições de alimentação em base livre de sal, com $w_{\text{MEG}} = 0,40, 0,50$ e $0,60$, mantendo-se constante a vazão de NaCl. O *Aspen Plus* reproduziu adequadamente a recuperação de MEG, igual a 100%, e a pureza do *lean-MEG*, próxima de 97,7%, em boa concordância com o valor de 97,8% obtido no *OLI*. Entretanto, a demanda energética do evaporador *flash* foi superestimada em 5,7% a 9,8%, evidenciando limitações na representação da solubilidade do NaCl em solvente misto.

Palavras-chave: monoetilenoglicol; *Aspen Plus*; *OLI Flowsheet*; eletrólitos; demanda energética.

1. Texto principal

1.1. Motivação

O monoetilenoglicol (MEG) é amplamente utilizado como inibidor termodinâmico de hidratos em sistemas de produção de gás natural. Após circular com os fluidos das tubulações, o MEG retorna à plataforma contendo Água e espécies salinas, exigindo uma etapa de regeneração para permitir seu reuso. Moura-Neto et al. (2023) avaliaram, no *OLI Flowsheet*, diferentes arranjos de unidades de regeneração de MEG para a unidade do Mexilhão, entre eles o caso *Full-Stream* sem coluna de destilação atmosférica (ADC), adotado neste trabalho como referência. A escolha desse arranjo permitiu comparar diretamente *Aspen Plus* e *OLI Flowsheet* sob as mesmas condições operacionais, com foco não apenas na pureza do *lean-MEG* e na recuperação de MEG, mas também na demanda energética do evaporador *flash*.

A comparação é relevante porque o *Aspen Plus* é um simulador comercial amplamente utilizado na indústria e na academia, enquanto o *OLI Flowsheet* apresentou, em estudos anteriores, melhor representação do sistema Água + MEG + NaCl. Em sistemas aquosos simples, como Água + NaCl, o *Aspen Plus* costuma apresentar bom desempenho. Entretanto, em solvente misto, a representação da solubilidade do NaCl pode se tornar menos precisa, afetando a composição da fase líquida e, consequentemente, a estimativa da demanda energética. Assim, mais do que reproduzir um caso no *Aspen Plus*, este trabalho busca avaliar a robustez desse simulador para esse sistema, investigar a sensibilidade da predição energética às limitações termodinâmicas e discutir implicações práticas para estimativas de custos operacionais, dimensionamento e integração térmica.

1.2. Metodologia

Adotou-se, no *Aspen Plus*, o método termodinâmico ENRTL-RK, escolhido por sua aplicabilidade a sistemas contendo eletrólitos e fase vapor em condições de processo, bem como pela disponibilidade de parâmetros no banco de dados do simulador. A corrente de alimentação foi definida a 25 °C e 130 kPa e corresponde à corrente já tratada a jusante do separador trifásico e da etapa de filtração. Para simplificar o modelo, consideraram-se apenas os componentes majoritários Água, MEG e NaCl, uma vez que os demais sais e compostos estavam presentes em pequenas frações e tenderiam a exercer influência reduzida sobre os resultados globais. O processo foi representado pelas etapas de pré-aquecimento, evaporador *flash*, condensação, bombeamento e coluna de destilação a vácuo.

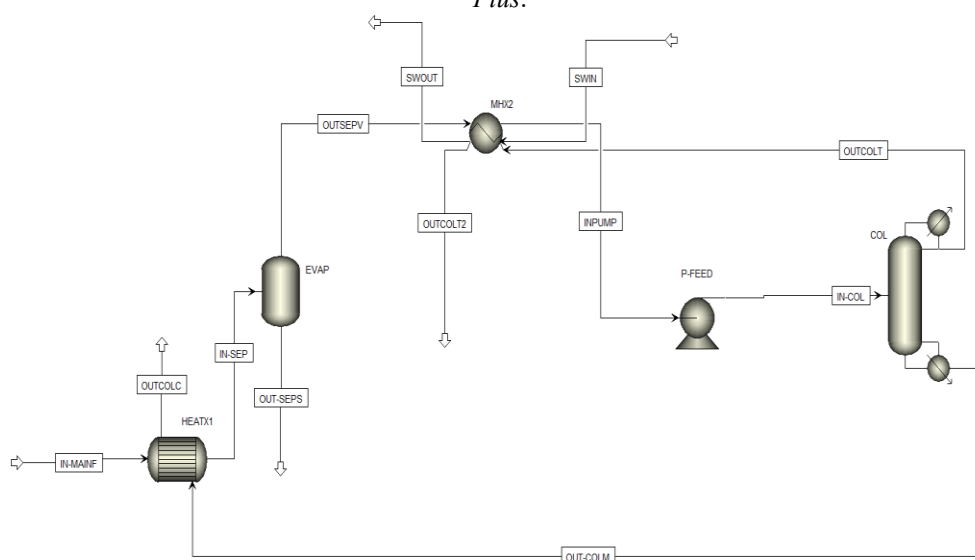
Os casos A, B e C representam alimentações progressivamente mais concentradas em MEG, mantendo-se constante a vazão de NaCl em 1454,20 kg/h, a fim de avaliar o efeito da composição sobre a pureza e a demanda

energética. As vazões mássicas de alimentação adotadas no *Aspen Plus* são apresentadas na Tabela 1. Para ambos os simuladores, adotaram-se pressão de 15 kPa no evaporador *flash* e 30 kPa na coluna de destilação a vácuo. A coluna foi representada com 10 estágios teóricos, com alimentação no estágio 5, e sua operação foi ajustada por meio da carga térmica do refeedor para atingir 135 °C. No evaporador *flash*, adotou-se temperatura de 140 °C para o caso A e de 130 °C para os casos B e C. O sistema considerou precipitação de sal, e a recuperação de MEG foi calculada de acordo com a Equação (1).

Tabela 1. Vazões mássicas de alimentação adotadas no *Aspen Plus*.

Caso	w'MEG	Água (kg/h)	MEG (kg/h)	NaCl (kg/h)
A	0,40	10476,8	6984,56	1454,2
B	0,50	8730,7	8730,7	1454,2
C	0,60	6984,56	10476,8	1454,2

Figura 1. Esquema do processo *Full-Stream* sem coluna de destilação atmosférica (ADC) utilizado em *Aspen Plus*.



$$\text{Recuperação de MEG (\%)} = (\dot{m}_{\text{MEG,produto}} / \dot{m}_{\text{MEG,alimentação}}) \times 100 \quad (1)$$

A Figura 1 mostra o esquema simplificado do processo *Full-Stream* sem coluna de destilação atmosférica (ADC), representativo do arranjo empregado em ambos os simuladores. Os resultados do *Aspen Plus* foram então comparados ao caso de referência previamente obtido pelo grupo, com ênfase sobre a pureza do *lean-MEG*, a recuperação global de MEG e a demanda energética do evaporador *flash*.

1.3. Resultados e discussão

Nos três casos analisados no *Aspen Plus*, a recuperação de MEG foi de 100%, conforme calculado pela Equação (1). Em relação à pureza do *lean-MEG*, os resultados permaneceram praticamente constantes, com valor de 97,7% para as três composições avaliadas, correspondentes a w'MEG = 0,40, 0,50 e 0,60. Esses valores ficaram muito próximos do caso de referência de 97,8% obtido em *OLI Flowsheet*, resultando em diferença absoluta de aproximadamente 0,1 ponto percentual. Dessa forma, a principal divergência entre os simuladores não foi observada na pureza nem na recuperação de MEG, mas na demanda energética do evaporador *flash*, conforme resumido na Tabela 2.

Tabela 2. Comparação entre *OLI Flowsheet* e *Aspen Plus*.

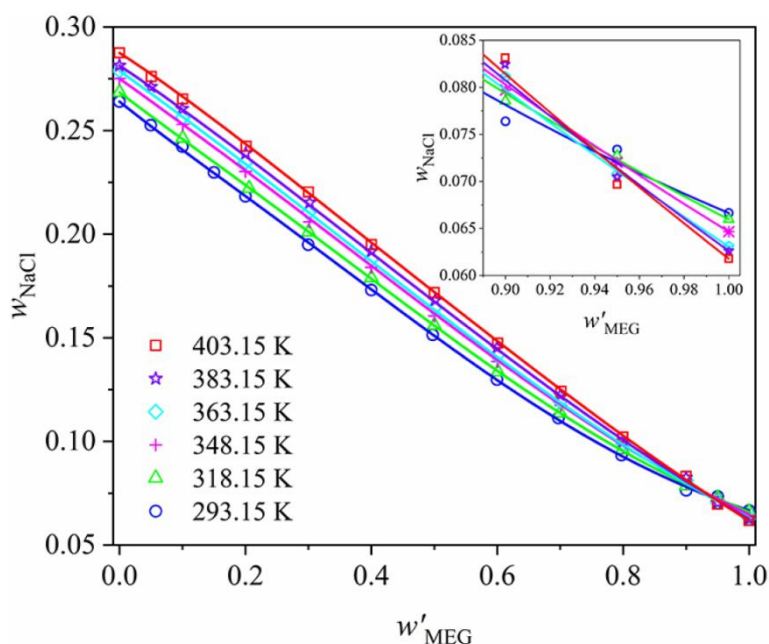
Caso	w'MEG	Pureza do <i>lean-MEG</i> OLI / Aspen (%)	Q _{evap} OLI / Aspen / Δrel (%)	P _{flash} (kPa)	T _{flash} (°C)	P _{VDC} (kPa)	T _{VDC} (°C)
A	0,40	97,8 / 97,7	9,315 / 9,8490 / 5,73	15	140	30	135
B	0,50	97,8 / 97,7	8,304 / 9,1176 / 9,80	15	130	30	135
C	0,60	97,8 / 97,7	7,832 / 8,4750 / 8,21	15	130	30	135

Os dados da Tabela 2 mostram que a demanda energética do evaporador *flash* calculada pelo *Aspen Plus* foi superior à obtida em *OLI Flowsheet* em todos os casos analisados. Para $w'_{\text{MEG}} = 0,40$, o *Aspen Plus* previu 9,8490 MW, contra 9,315 MW no *OLI Flowsheet*, o que corresponde a uma superestimação de 5,73%. Para $w'_{\text{MEG}} = 0,50$, a diferença relativa foi de 9,80% (9,1176 MW no *Aspen Plus* e 8,304 MW no *OLI Flowsheet*). Já para $w'_{\text{MEG}} = 0,60$, a superestimação foi de 8,21% (8,4750 MW no *Aspen Plus* e 7,832 MW no *OLI Flowsheet*). Em ambos os simuladores, observou-se a mesma tendência global de redução da demanda energética com o aumento da fração mássica de MEG na alimentação, o que indica coerência qualitativa entre os resultados.

A diferença sistemática observada foi associada à forma como o *Aspen Plus* representa o sistema Água + MEG + NaCl, especialmente no que se refere à solubilidade do sal em solvente misto. Como a solubilidade do NaCl afeta a composição efetiva da fase líquida, pequenas diferenças na descrição do equilíbrio podem alterar a quantidade de Água efetivamente vaporizada no evaporador *flash* e, por consequência, a demanda energética calculada.

A Figura 2 mostra que a solubilidade do NaCl diminui com o aumento da fração mássica de MEG em diferentes temperaturas, conforme reportado por Monteiro et al. (2021). Assim, à medida que a alimentação se torna mais rica em MEG, reduz-se a capacidade da mistura de manter o sal dissolvido, o que modifica a composição da fase líquida e influencia o balanço de energia do evaporador *flash*. Esse comportamento ajuda a explicar por que as maiores diferenças entre *Aspen Plus* e *OLI Flowsheet* foram observadas na demanda energética, e não na pureza final do *lean-MEG*. Mesmo quando pureza e recuperação permanecem muito próximas, diferenças na forma de representar a solução salina podem resultar em estimativas distintas de carga térmica.

Figura 2. Solubilidade do NaCl em misturas Água + MEG a diferentes temperaturas (adaptado de Monteiro et al., 2021).



1.4. Conclusão

A simulação da unidade de regeneração de MEG do campo de Mexilhão em *Aspen Plus* permitiu reproduzir o arranjo *Full-Stream* sem coluna de destilação atmosférica (ADC), obtendo recuperação de MEG de 100% e pureza do *lean-MEG* próxima de 97,7%, valor muito próximo ao caso de referência de 97,8% obtido em *OLI Flowsheet*. A principal diferença entre os simuladores não foi observada na pureza final, mas na demanda energética do evaporador *flash*, sistematicamente superior no *Aspen Plus*.

Os resultados também indicaram uma tendência consistente de redução da demanda energética com o aumento da fração mássica de MEG na alimentação, comportamento observado em ambos os simuladores. Entretanto, as diferenças de 5,7% a 9,8% na carga térmica mostram que limitações na representação termodinâmica da solubilidade do NaCl no sistema Água + MEG + NaCl podem influenciar de maneira relevante estimativas de

consumo energético. Do ponto de vista industrial, essa superestimação pode impactar estudos de custos operacionais, dimensionamento de equipamentos e integração térmica.

Como continuidade deste trabalho, pretende-se incorporar ao *Aspen Plus* parâmetros ajustados de solubilidade do NaCl em misturas Água + MEG, considerando sua dependência com temperatura e concentração, para aproximar a predição da demanda energética dos resultados obtidos em *OLI Flowsheet*. Os resultados indicam que o *Aspen Plus* pode reproduzir satisfatoriamente indicadores de pureza e recuperação para a regeneração de MEG, mas que a predição da demanda energética em sistemas contendo solvente misto requer atenção especial à parametrização termodinâmica.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Química da UFRN, ao NUPEG e ao suporte acadêmico recebido para o desenvolvimento desta comparação entre simuladores.

Referências

Monteiro, M. F.; Moura-Neto, M. H.; Mota, A. L. N.; Figueiredo, C. S.; Ciambelli, J. R. P.; do Nascimento, J. F.; Pereira, L. S.; Chiavone-Filho, O.: Salt Solubility and Saturated Electrical Conductivity Data for Water + Monoethylene Glycol + NaCl in a Wide Temperature Range, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 66, 1676–1683, 2021.

Moura-Neto, M. H.; Monteiro, M. F.; Pereira, L. S.; do Nascimento, J. F.; Chiavone-Filho, O.: Simulation and Analysis of MEG Reclamation and Regeneration Unit in Offshore Natural Gas Plants, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 62, 15974–15985, 2023.

Son, H.; Kim, Y.; Park, S.; Binns, M.; Kim, J.: Simulation and Modeling of MEG (Monoethylene Glycol) Regeneration for the Estimation of Energy and MEG Losses, *Energy*, 157, 10–18, 2018.