



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2026) v. 13, n. 1, p. 1–16
<https://doi.org/10.21712/lajer.2026.v13.n1.p1-16>

Desidratação de gás natural com glicóis: avanços tecnológicos e desafios operacionais

Natural gas dehydration using glycols: technological advances and operational challenges

Kauany de Castro Silva¹, Andrea Komesu^{2,*}

¹Aluna de Graduação do Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia do Mar, Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, campus Baixada Santista, SP, Brasil

² Professora do Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP, campus Baixada Santista, SP, Brasil

*Autor para correspondência, E-mail: andrea.komesu@unifesp.br

Received: 21 January 2026 | Accepted: 2 March 2026 | Published online: 29 April 2026

Resumo: O processo de desidratação do gás natural (GN) é mandatório para prevenir a formação de hidratos e corrosão em dutos. A absorção com trietilenoglicol (TEG) é o método industrial padrão, mas apresenta desafios de consumo energético e emissões de poluentes (BTEX). O presente trabalho teve como objetivo avaliar o estado da arte do processo de desidratação de GN com TEG, identificando avanços tecnológicos e gargalos operacionais. Para isso, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, seguindo o método PRISMA, com 25 artigos selecionados das bases Web of Science e SciELO no período de 2021 a 2025. A análise dos resultados foi estruturada em três pilares metodológicos identificados: (1) a consolidação da simulação computacional (Aspen Hysys[®]) para modelagem de processo; (2) a ascensão da Inteligência Artificial (Gêmeos Digitais, *Machine Learning*) para otimização e diagnóstico em tempo real; e (3) o desenvolvimento de tecnologias emergentes, como Leitos Rotativos (RPB) e membranas híbridas, visando a intensificação e a sustentabilidade. A revisão também quantificou o *trade-off* central do processo, onde a busca pela máxima pureza do TEG (exigindo altas temperaturas, ~204°C, e baixas pressões) conflita diretamente com o consumo de energia e a geração de emissões. Conclui-se que as perspectivas de inovação no setor apontam para a integração de soluções híbridas, combinando a predição de modelos de IA com hardwares intensificados, de modo a otimizar simultaneamente a eficiência, os custos e o desempenho ambiental.

Palavras-chave: Gás natural, Desidratação, Trietilenoglicol, Simulação de processos, Otimização.

Abstract: The natural gas (NG) dehydration process is mandatory to prevent hydrate formation and corrosion in pipelines. Absorption with triethylene glycol (TEG) is the standard industrial method but presents challenges in energy consumption and pollutant emissions (BTEX). This paper aims to evaluate the state-of-the-art of the NG dehydration process with TEG, identifying technological advancements and operational bottlenecks. A systematic literature review was conducted, following the PRISMA method, with 25 articles selected from the Web of Science and SciELO databases for the period 2021-2025. The results analysis was structured into three identified methodological pillars: (1) the consolidation of computational simulation (Aspen Hysys[®]) for process modeling; (2) the rise of Artificial Intelligence (Digital Twins, *Machine Learning*) for real-time optimization and diagnostics; and (3) the development of emerging technologies, such as Rotating Packed Beds (RPB) and hybrid membranes, aiming for intensification and sustainability. The review also quantified the central trade-off of the process, where the pursuit of maximum TEG purity (requiring high temperatures, ~204°C, and low pressures) directly conflicts with energy consumption and emissions generation. It is concluded that innovation prospects in the sector point towards the integration of hybrid solutions, combining the prediction of AI models with intensified hardware, to simultaneously optimize efficiency, costs, and environmental performance.

Keywords: Natural gas, Dehydration, Triethylene glycol, Process simulation, Optimization.

1 Introdução

O gás natural (GN) consolidou-se como uma fonte energética estratégica no cenário global devido à sua versatilidade e menor impacto ambiental em comparação a outros combustíveis fósseis (Wood, Nwaoha e Towler, 2012). No entanto, o gás extraído dos reservatórios encontra-se saturado com vapor de água, o que representa um risco crítico para o processamento e transporte. A presença de água livre, sob altas pressões, favorece a formação de hidratos de gás, cristais sólidos que podem bloquear tubulações e acelera processos corrosivos ao reagir com gases ácidos como CO_2 e H_2S (Nóbrega, 2003; Carroll, 2020). Para mitigar esses riscos, a desidratação é uma etapa mandatória no condicionamento do GN. Embora existam diversos métodos, a absorção química utilizando solventes líquidos é o padrão industrial dominante, sendo os glicóis a classe de dessecantes mais empregada devido à sua alta higroscopicidade e estabilidade térmica (Petropoulou e Voutsas, 2018).

Sob uma ótica molecular, a eficiência dos glicóis deve-se à presença de grupos hidroxila (-OH), que formam fortes ligações de hidrogênio com a água, e ligações éter, que conferem estabilidade. A escolha do tipo de glicol depende de um equilíbrio entre capacidade de absorção e facilidade de regeneração (Solventis, s.d.):

- Monoetilenoglicol (MEG): devido à sua alta pressão de vapor e perdas significativas por vaporização, é utilizado preferencialmente como inibidor de hidratos em tubulações e não em torres de absorção.
- Dietilenoglicol (DEG): apresenta menor pressão de vapor que o MEG, mas seu grau de reconcentração é limitado, sendo insuficiente para aplicações que exigem baixos pontos de orvalho.
- Trietilenoglicol (TEG): representa o equilíbrio termodinâmico ideal. Sua cadeia molecular maior ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_4$) confere baixa pressão de vapor e permite temperaturas de regeneração de até 204°C , garantindo alta pureza sem degradação excessiva (Manning e Thompson, 1991).
- Tetraetilenoglicol (TREG): embora possua perdas por vaporização ainda menores, sua alta viscosidade e custo elevado restringem seu uso a aplicações específicas.

O processo típico de desidratação ocorre em uma unidade contínua composta por dois estágios principais, conforme ilustrado na Figura 1: a absorção, onde o glicol pobre (seco) remove a água do gás em contracorrente sob alta pressão; e a regeneração, onde o glicol rico (úmido) é aquecido em baixa pressão para remover a água absorvida e ser reutilizado (Talavera, 2002; Coelho, 2007).

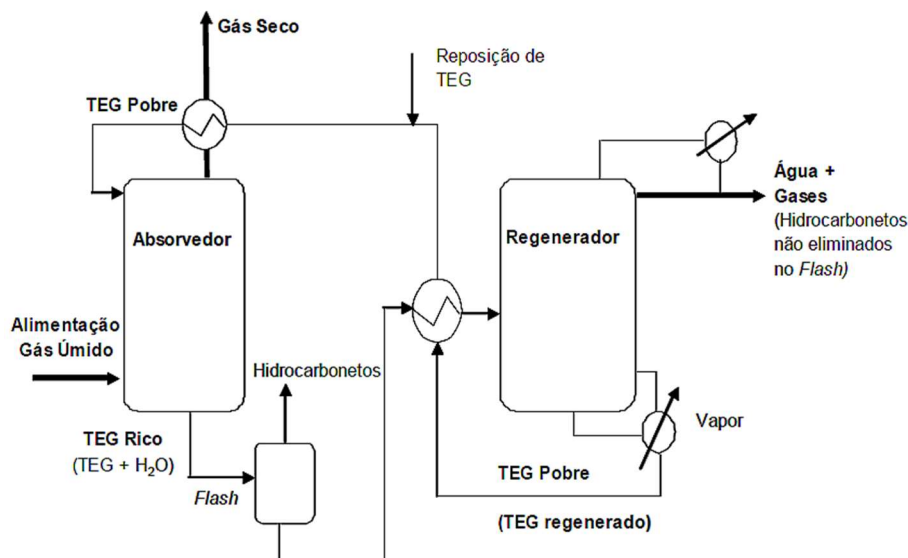


Figura 1. Processo de desidratação com glicol. Fonte: Talavera (2002).

Apesar de sua maturidade tecnológica, o processo enfrenta desafios operacionais, como a formação de espuma e a dificuldade de bombeamento em baixas temperaturas, além de um ponto crítico ambiental: a emissão de compostos orgânicos voláteis (BTEX- Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos) absorvidos pelo solvente e liberados durante a regeneração (Nóbrega, 2003). Diante disso, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática para identificar avanços tecnológicos e soluções de otimização que equilibrem eficiência energética e sustentabilidade no uso de glicóis.

2 Metodologia

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão sistemática conduzida de acordo com o método PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PAGE et al., 2021).

A pesquisa foi conduzida nas bases de dados Web of Science e SciELO, no período de 13 a 25 de outubro de 2025, com o objetivo de identificar estudos recentes relacionados aos processos de desidratação do gás natural e à eficiência do uso de glicóis nesse contexto.

Inicialmente, procedeu-se à definição das palavras-chave relacionadas ao tema de pesquisa, utilizadas como base para a busca dos estudos nas bases de dados selecionadas. Para a definição dos termos, foram empregados descritores padronizados do Medical Subject Headings (MeSH), assegurando precisão terminológica e consistência na recuperação dos artigos. Além disso, utilizaram-se termos livres (TL), expressões não contempladas no vocabulário MeSH, mas relevantes para o tema.

Na base Web of Science, a estratégia de busca foi estruturada da seguinte forma: “topic” “Natural Gas” (MeSH) AND “topic” “Dehydration” (MeSH) AND “title” “Glycols” (MeSH) AND “topic” “Triethylene Glycol” (MeSH) OR “topic” “Ethylene Glycol” (MeSH) AND “topic” “Corrosion” (MeSH) AND “topic” “Revision” (TL). Já na base SciELO, em função das diferenças na indexação dos campos de busca, foi utilizada a estrutura: “All fields” “gas natural” AND “dehydration” AND “glycols”. Essa adaptação teve como objetivo evitar a anulação de resultados e garantir uma busca ampla e coerente com os objetivos do estudo. A Figura 2 resume a metodologia empregada baseada no método PRISMA.

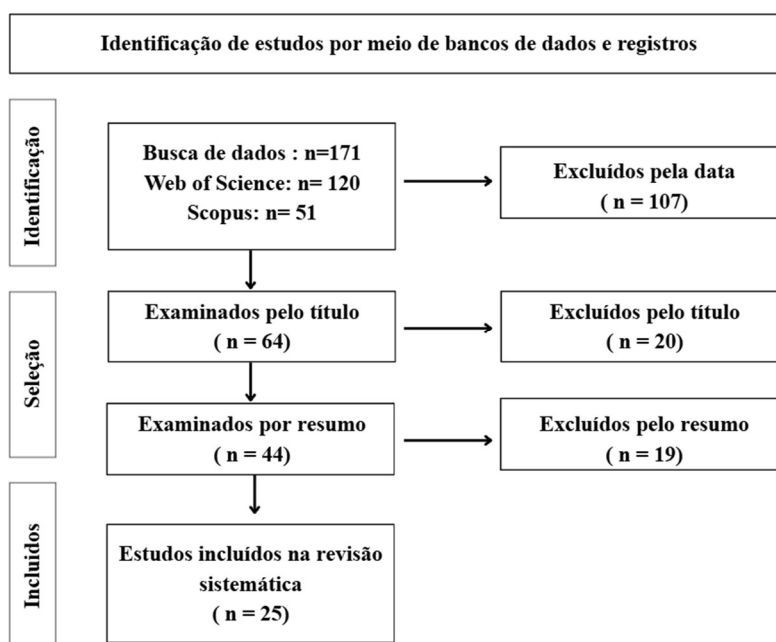


Figura 2. Fluxograma de seleção dos documentos selecionados, segundo o método PRISMA. Legenda: n- número de artigos.

O primeiro refinamento consistiu na delimitação temporal dos resultados, restringindo a seleção às publicações dos últimos cinco anos (2021–2025), de modo a assegurar a atualidade e a relevância dos materiais analisados. Em seguida, realizou-se uma segunda triagem, na qual foram incluídos apenas os artigos que apresentavam ao menos uma das palavras-chave em seus títulos, garantindo maior alinhamento com o objeto de estudo. Posteriormente, conduziu-se uma terceira etapa de seleção, mediante a leitura dos resumos, considerando critérios como a relevância dos resultados apresentados, o tipo de processo abordado e o tipo de glicol empregado.

Após a aplicação dessas etapas, foram eliminados aqueles que não atendiam aos critérios de relevância, resultando em 25 artigos potencialmente pertinentes. Os documentos selecionados foram submetidos, então, a uma triagem final por meio da leitura integral, com o propósito de verificar o atendimento aos critérios de inclusão, definidos como:

- Estudos que abordassem a desidratação do gás natural;
- Trabalhos que analisassem a eficiência do processo e apresentassem diferenciais voltados à otimização, possibilitando a identificação dos métodos de desidratação mais eficazes.

Foram estabelecidos como critérios de exclusão os artigos que não empregavam glicol em seus processos ou que abordavam técnicas baseadas em adsorção, por se afastarem do foco do presente trabalho.

3 Resultados e discussões

Os estudos que atenderam a todos os critérios foram organizados no Quadro 1, contendo as seguintes informações: título do artigo, autores, ano de publicação, idioma do documento, método e resultados principais. Essa sistematização permitiu uma análise comparativa dos materiais selecionados, evidenciando as principais tendências, autores de destaque e periódicos mais recorrentes no tema abordado.

A apresentação dos dados foi estruturada de forma a facilitar a visualização das convergências e divergências entre os estudos, permitindo uma análise crítica e integrada dos resultados. Tal organização possibilitou identificar as abordagens mais eficazes no processo de desidratação do gás natural, bem como os fatores que influenciam a eficiência do uso de diferentes tipos de glicóis.

Com base no Quadro 1, traça-se um perfil evolutivo das pesquisas recentes. A análise quantitativa revela um crescimento no interesse científico sobre desidratação de GN, culminando em um pico de publicações em 2024. Este aumento reflete a resposta da engenharia a duas pressões globais: a urgência por sustentabilidade e a maturidade da Indústria. Correlacionando ano e tema, nota-se que estudos pré-2023 focavam na validação termodinâmica convencional, enquanto 2024 é dominado por Inteligência Artificial (IA) e mitigação de emissões, indicando uma migração da simples operação para a otimização avançada. Nesse contexto, o avanço tecnológico estrutura-se sobre três pilares fundamentais: modelagem computacional e simulação, Inteligência artificial e aprendizado de máquina e Investigação experimental e tecnologias emergentes.

3.1 Modelagem computacional e simulação

Na simulação de processos, utilizam-se softwares comerciais para modelar o comportamento termodinâmico das unidades de desidratação, buscando testar cenários operacionais sem os riscos de intervenções em plantas reais. Ferramenta como o Aspen Hysys[®] foi amplamente citado, simulando processos de absorção e regeneração com trietilenoglicol (TEG), enquanto softwares como o ProMax e Aspen Plus[®] aparecem em aplicações específicas de otimização de desidratação de CO₂.

O uso de softwares de simulação, tem revolucionado o projeto e otimização de unidades de desidratação. Como demonstram Coelho (2007) e Talavera (2002), essas ferramentas permitem prever com precisão o comportamento dos sistemas, reduzindo custos operacionais e minimizando riscos. Nesta revisão sistemática, observou-se que a aplicação destas ferramentas se especializou em três vertentes complementares: a simulação de processo estacionário, a fluidodinâmica computacional e a otimização matemática.

No que tange aos simuladores de processos, a predominância do Aspen Hysys[®], se deve ao fato de ser uma ferramenta padrão para avaliar novos layouts de plantas e modelos de Gêmeos Digitais (GD). A precisão desses modelos estão intrinsecamente ligados ao uso do pacote termodinâmico Glycol Package, projetado especificamente para prever comportamento complexo das interações. Paralelamente, o software ProMax demonstrou relevância na geração de grandes volumes de dados sintéticos, ideais para treinar modelos preditivos de Inteligência Artificial (como SVR), sem ser necessária a experimentação física, podendo assim, evitar exaustão.

Os simuladores citados buscam modelar um equilíbrio global, a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) foi aplicada para investigar fenômenos internos críticos. A utilização do software ANSYS Fluent, aplicando modelos como o de Euler - Euler, permitiu quantificar o impacto de oscilações marítimas na hidrodinâmica das colunas de absorção em *Floating Production Storage and Offloading* (FPSO), demonstrando como a inclinação da plataforma afeta a eficiência da transferência de massa.

Quadro 1. Dados dos estudos que identificaram compatibilidade com os critérios de inclusão.

Título	Autores	Publicação	Idioma	Método	Resultado
Natural Gas Triethylene Glycol Dehydration Equipment Digital Twin and Condition Evaluation Application	Ren, HJ; Dai, ZX; Chen, JX; Yin, AJ; Wu, S; Wang, K; Li, X; Chen, ZY	2024	Inglês	Implementação e validação de um modelo de gêmeo digital (Digital Twin — DT)	Mostrou eficiência no monitoramento e diagnóstico de falhas, permitindo prever condições operacionais e otimizar o desempenho dos equipamentos.
Investigation of the Factors and Mechanisms Affecting the Foaming of Triethylene Glycol in Natural Gas Purification	Liang, HY; Huang, Q; Li, X; Wu, Q; Yan, H; Meng, J; Long, XY	2025	Inglês	Ensaio laboratoriais	Sais inorgânicos solúveis ($MgCl_2$ e $CaCl_2$) e aditivos químicos ($Na_2C_2H_3O_2$) reduzem a tensão superficial do TEG, enquanto partículas sólidas ($CaCO_3$, Fe_2O_3 e $CaSO_4$) estabilizam a formação de espuma.
A reduced order model for triethylene glycol natural gas dehydration system	Chong, DJS; Foo, DCY; Putra, ZA	2023	Inglês	Modelagem (ASPEN HYSYS), programação (LINGO)	Reduziu o custo operacional em 34,6% e também 69% a perda de TEG por arraste.
Feasibility analysis and process simulation of CO ₂ dehydration using triethylene glycol for CO ₂ pipeline transportation	Chen, SPX; Chen, GY; Zhao, XL; Luo, X; Gao, HX; Li, WS; Liang, ZW	2021	Inglês	Simulação computacional (ASPEN PLUS)	Condições ideais de operação identificadas (13 °C e 0,1 MPa no tanque de flash) maximizam a eficiência de desidratação
Investigation of natural gas dehydration process using triethylene glycol (TEG) based on statistical approach	Moghaddam, AH	2023	Inglês	Simulação computacional (ASPEN HYSYS)	Condições ideais identificadas foram 40,52 kPa e 190,97 °C, resultando em 96,51% de pureza do TEG e vazão de 2,91 kg mol/h.
Thermodynamic modelling of systems involved in natural gas dehydration with triethylene glycol using a group contribution association model	Tasios, G; Louli, V; Skouras, E; Solbraa, E; Voutsas, E	2025	Inglês	Combinação termodinâmica da equação de estado PR-CPA com o modelo de contribuição de grupo UNIFAC.	Alta precisão na simulação do sistema TEG–água–metano, com teores de 0,05 ppm de TEG e 23,26 ppm de água na fase vapor e 0,02 ppm de metano na fase líquida. Solvatação reduziu o tolueno de 48% para 7,7% e o benzeno de 21% para 10%. Os desvios médios de pressão foram de 3,2% para TEG–metano e 9,3% para metano–água

Título	Autores	Publicação	Idioma	Método	Resultado
Composition analysis of natural gas in the presence of liquid impurities by high-pressure proton low-field Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy	Restrepo, SAO; Denninger, J; Dupuy, PM; Wideroe, HC; Mohnke, O; Leknes, O; Adams, A	2025	Inglês	Modelagem Indireta Rígida (IHM)	Detectou simultaneamente o gás e o contaminante líquido TEG, permitindo identificar o problema de arraste (carryover) após a desidratação. Foram determinados os valores de LOD = 0,85 mg, LOQ = 2,83 mg e quantidade máxima detectável = 57 mg
Prediction of variables involved in TEG Dehydration using hybrid models based on boosting algorithms	Wang, FX; Zhao, JM; Van Hoang, V	2024	Inglês	Modelos híbridos de aprendizado de máquina (XGBoost, CatBoost, HGBR e LightGBM) combinados com o Algoritmo de Otimização Aritmética (AOA) para ajuste de hiperparâmetros e aprimoramento da precisão das previsões.	XGBoost-AOA apresentou a maior precisão na previsão do teor de água e das concentrações de BTEX, o HGBR-AOA teve desempenho inferior, enquanto CatBoost-AOA e LightGBM-AOA mostraram resultados satisfatórios.
Parameter screening and optimized gaussian process for water dew point prediction of natural gas dehydration unit	Ren, HJ; Yin, AJ; Dai, ZX; Liu, XC; Tan, ZB; Zhang, B	2023	Inglês	Análise de sensibilidade de 36 variáveis por meio de uma árvore de decisão (GBDT), em seguida, foi construído um modelo de Processo Gaussiano Otimizado (GP) para mapear esses parâmetros ao ponto de orvalho.	GBDT obteve menor erro (0,85) no treinamento, o novo modelo mostrou melhor capacidade de generalização no teste, com menor risco de overfitting. Em comparação, métodos como regressão de rede, PLS e PCR tiveram desempenho inferior (RMSE entre 1,02 e 1,38).
Development of supervised machine learning model for prediction of TEG regeneration performance in natural gas dehydration	Moghaddam, AH; Sadeq, AM	2024	Inglês	Modelagem e simulação computacional.	A pureza máxima do TEG obtida foi de 97,52% pelo modelo de IA e 97,64% pela simulação no Hysys, com excelente concordância entre ambos. Essa pureza foi alcançada nas condições de vazão de TEG de 2,86 kg mol/h, temperatura do refeedor de 205 °C e pressão da coluna de 40 kPa.

Título	Autores	Publicação	Idioma	Método	Resultado
Assessment of chemical enhancement and energy consumption of natural gas dehydration processes	Eldemerdash, UN; Abdrabou, M; El-Sheltawy, ST; Abdelghany, A	2024	Inglês	Simulação computacional (ASPEN HYSYS)	Processo reduziu o teor de água no gás natural de 75 para 2,5 lb/MMSCF. Entre os quatro cenários simulados, o Caso 4, com gás de stripping reciclado, coluna dedicada e trocador de calor otimizado, apresentou o menor consumo de energia, com 371,7 kJ/kg de TEG a uma vazão de 665,3 kg/h, sendo o cenário mais eficiente energeticamente.
Multicomponent vapor-liquid equilibrium measurements and modeling of triethylene glycol, water, and natural gas mixtures at 6.0, 9.0 and 12.5 MPa	Qvistgaard, D; Trancoso, J; Solbraa, E; Danielsen, MV; Panteli, E; Kontogeorgis, GM; von Solms, N	2023	Inglês	Experimentos de equilíbrio de fases. Paralelamente, aplicou-se a equação de estado CPA (Cubic-Plus-Association) para modelagem teórica.	O aumento da pressão e da pureza do TEG melhora a remoção de água do gás, mas também aumenta as perdas de TEG e a dissolução de gás no líquido. Já o aumento da temperatura reduz a eficiência da desidratação e eleva as perdas de TEG. Observou-se, portanto, um trade-off operacional: pressões mais altas melhoram a secagem do gás, mas elevam o custo e o consumo de TEG
ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА (CARACTERÍSTICAS DE PREPARAÇÃO INDUSTRIAL DO GÁS NATURAL)	Liintin, IA; Erofeev, VI; Dzhalilova, SN	2022	Russo	Análise teórica e revisão bibliográfica comparativa.	TEG é o mais adequado e amplamente utilizado nas aplicações industriais de gás na Rússia.
Technical, Economical, and Environmental Performance Assessment of an Improved Triethylene Glycol Dehydration Process for Shale Gas	Liu, GH; Zhu, L; Hong, JM; Liu, HM	2022	Inglês	Simulação termodinâmica (ASPEN HYSYS). Análises econômica (custos de capital – CapEx e operacionais – OpEx)	Fluxo de gás de stripping é o principal fator que afeta a eficiência da remoção de água. A melhor desidratação ocorre quando o TEG pobre possui pureza entre 99,30% e 99,35%. Funcionou bem em vazões de gás entre 18 e 210 MMscfd. Economicamente, apresentou custos 43,1% menores em CapEx e 52,2% menores em OpEx e emissões abaixo dos limites legais.

Título	Autores	Publicação	Idioma	Método	Resultado
Simulation analysis of gas-liquid flow and mass transfer in a shaking triethylene glycol dewatering absorber	Zhu, JL; Cao, H; Wang, H; Zhang, SS; Li, YX; Ge, XC; Luo, JQ	2024	Inglês	Modelo matemático 2D da coluna de absorção usando o software ANSYS Fluent (CFD). Aplicou-se também o modelo de Euler-Euler, modelo de grade dinâmica, validado em condição estática.	Oscilação do FPSO afeta fortemente o desempenho das torres de desidratação e regeneração: torre de absorção, a inclinação de 9° aumentou em 85% a perturbação do fluxo interno, e um período de oscilação de 20 segundos elevou em 78% essa instabilidade. Oscilações curtas (6 a 16 s) não prejudicaram a desidratação, mas períodos longos (acima de 21 s) e maiores inclinações aumentaram a umidade do gás de saída, reduzindo a eficiência. Na torre de regeneração, condições severas (6 s e 20°) causaram grandes flutuações na pureza do TEG, que chegou a 85%, valor insuficiente para garantir uma desidratação eficaz.
Analysis Study of Available Alternatives for Mitigation of Aromatic Hydrocarbon Emissions from a Glycol Dehydration Unit	Shoaib, AM; Ahmed, TF; Gadallah, AG; Bhran, AA	2024	Inglês	Simulação computacional (ASPEN HYSYS), Otimização matemática (LINGO)	Redução de 81,42% nas emissões de BTEX, diminuindo de 6,894 MSCFD para 1,281 MSCFD.
High sour natural gas dehydration treatment through low temperature technique: Process simulation, modeling and optimization	Rubaiee, S	2023	Inglês	Simulação computacional (software COCO-ChemSep) e metodologia de superfície de resposta (MSR).	Remoção mínima de água de 0,01592 kg em 1540 kg de gás, com condições ótimas de operação a -7,3 °C e 34 bar. A eficiência de remoção de água ultrapassou 90% em pressões elevadas (acima de 10 bar)
Multi-objective Optimization of the TEG Dehydration Process for BTEX Emission Mitigation Using Machine-Learning and Metaheuristic Algorithms	Mukherjee, R; Diwekar, UM	2021	Inglês	Simulações (ProMax), otimização no MATLAB (algoritmo EACO (variante do Algoritmo de Colônia de Formigas) e por fim um modelo preditivo SVR (Support Vector Regression).	Redução das emissões de BTEX para cerca de 293,33 toneladas/ano, teor de água no gás seco foi reduzido para 5,78 lbm/MMscf, além disso os modelos SVR apresentaram alta precisão, com erros médios absolutos de apenas 0,1369 (BTEX) e 0,0878 (teor de água).

Título	Autores	Publicação	Idioma	Método	Resultado
Enhanced Regeneration of Triethylene Glycol Solution by Rotating Packed Bed for Offshore Natural Gas Dehydration Process: Experimental and Modeling Study	Chen, WC; You, XG; Liu, P; Sun, BC; Chu, GW; Zhang, LL	2021	Inglês	Experimento laboratorial em RPB (Rotating Packed Bed).	Velocidade ideal de rotação foi 600 rpm; o aumento da razão gás-líquido (G/L) elevou a eficiência de 83% para quase 100%, enquanto maior vazão de líquido reduziu a eficiência, e o aquecimento de 433 K para 473 K melhorou expressivamente o desempenho. O RPB reduziu o volume necessário de reator de 0,231 m ³ para apenas 0,029 m ³ .
New association schemes for tri-ethylene glycol Cubic-Plus-Association parameterization and uncertainty analysis	Qvistgaard, D; Kruger, F; Liang, XD; Kontogeorgis, GM; von Solms, N	2022	Inglês	Modelagem termodinâmica com a Equação de Estado CPA. Foram testados diferentes esquemas de associação molecular para o TEG 4C, 4F, 5C, 5F e 6F. Juntamente com a otimização dos parâmetros (MATLAB® R2019a). Aplicou-se a função Multistart, testando 800 condições iniciais de otimização.	Esquema 4F apresentou o melhor desempenho, com a menor pegada de erro (FP = 5,70), superando os demais modelos testados. Ele representou uma melhoria de aproximadamente 20% em relação ao esquema 4C da literatura (FP = 6,97).
Interfacial and mass transport phenomena in the tri-ethylene glycol-methane system at process conditions of natural gas dehydration	Ibeh, S; Jaeger, P	2024	Inglês	Estudo experimental: Medição de Densidade: Utilizou-se o método do tubo em U oscilante, Medição da Tensão Interfacial (IFT): A tensão interfacial de equilíbrio e dinâmica foi medida pelo método da gota pendente (Pendent Drop), com captura de imagens em uma célula de visualização de alta pressão e alta temperatura (HPHT), Determinação da Difusividade: O coeficiente de difusão foi obtido indiretamente, a partir da expansão volumétrica.	Difusividade do CH ₄ no TEG, obtendo o valor de $9,4 \times 10^{-10}$ m ² /s a 150 bar e 50°C. O aumento da pressão reduziu a tensão interfacial (IFT) e o volume da gota de equilíbrio, enquanto a presença de 5% de água no TEG aumentou o IFT em até 5 mN/m a 250 bar, devido ao aumento da polaridade do solvente. Já a adição de 20% de CO ₂ diminuiu o IFT em cerca de 2 mN/m, indicando maior afinidade entre o CO ₂ e o TEG. A temperatura (20°C a 50°C) teve pouca influência no IFT em pressões elevadas. Em pressões de até 150 bar, observou-se que o IFT diminuiu dinamicamente em 3 mN/m ao longo de 300 segundos, acompanhado pelo inchaço da gota, comprovando a solubilização do metano na fase líquida.

Título	Autores	Publicação	Idioma	Método	Resultado
Recent Progress in membrane-based technology for natural gas dehydration	Ruyun Yanum, Siding Chenb, Qing Lib, Zhehao Jinc, Wenju Jiangum, Lin Yangum, Lu Yaoum, Yiyang Daic, Junfeng Zhengum, Zhongde Daium	2025	Inglês	Revisão Bibliográfica	Membranas híbridas do tipo Matriz Mista (MMMs), apresentaram desempenho superior, ultrapassando o “limite de Robeson” ao oferecer simultaneamente alta permeabilidade e seletividade. A configuração de estágio único mostrou-se ideal para a desidratação do gás natural, devido à elevada permeabilidade da água em comparação ao metano, resultando em maior eficiência e menor custo operacional. Além disso, a análise de viabilidade econômica indicou que os sistemas de membranas tornam-se competitivos em relação ao processo com TEG quando a permeabilidade à água ultrapassa 500 GPU.
Enhanced Natural Gas Dehydration: Comparative Analysis of Three Gas Unit Models	Abdulrazzaq S. Abdullah, Iltifat H. Saud, Akram A. Al-Asadi, Raad Z. Homod, Watheq J. Al Mudhafar, Basma al Janabi	2024	Inglês	Simulação Computacional (ASPEN HYSYS), o modelo termodinâmico adotado foi a equação de estado de Peng-Robinson (PR)	O modelo que utiliza o gás flash como agente de stripping adicional, apresentou o melhor desempenho na desidratação do gás natural. A eficiência de remoção de água alcançou 82%, superior aos 70% do modelo convencional e 76% do modelo com gás de stripping simples. O teor de água no gás seco foi reduzido para 0,1471 g/Nm ³ , comparado a 0,24 g/Nm ³ na operação da planta real. O aumento da temperatura do refeedor elevou a pureza do TEG pobre e reduziu o teor de água no gás, embora com maior consumo energético; o aumento da vazão do gás de stripping melhorou a regeneração do TEG e reduziu o teor de água; enquanto temperaturas mais altas no gás de alimentação aumentaram o teor de água no produto devido à menor solubilidade da água no TEG.

Título	Autores	Publicação	Idioma	Método	Resultado
Effective strategies to reduce triethylene glycol consumption in natural gas processing plants	Luis Trueba Jr.um,b, Tyler Gastãooum, James Brackinum, José Millerc, Byoung-Hee	2022	Inglês	Estudo de caso aplicado em plantas reais, combinando análise operacional detalhada e identificação de causas raiz das perdas de TEG.	A automação da taxa de circulação de TEG por meio da válvula de controle (FCV) reduziu o consumo no “Hub C” para 37,9 L em 16 dias, enquanto os demais hubs consumiram mais de 908 L no mesmo período; A instalação do gás de cobertura com nitrogênio diminuiu o consumo médio diário de TEG em três hubs, além de prevenir a oxidação e a corrosão a longo prazo. A otimização térmica do separador flash enfrentou desafios: a serpentina local elevou a temperatura para 69°C, mas causou queda excessiva de pressão, e a serpentina comercial não forneceu calor suficiente, indicando necessidade de redimensionamento.
Process Intensification of Triethylene Glycol Dehydration Units with Respect to Rated Energy Consumption, Emissions and Product Quality	Václav Miklas, Ibrahim Abdulrahman, Vítězslav Máša*	2021	Inglês	Abordagem híbrida de simulação e metamodelagem estatística. Inicialmente, foi desenvolvido um modelo estacionário rigoroso da planta (ProMax), as simulações foram utilizadas na construção de um metamodelo substituído por Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) (Minitab).	Taxa de circulação de TEG em 7% (6.200 → 6.632 kg/h) e reduzindo a vazão de gás de stripping em 29,4% (160 → 113 kg/h). Isso resultou em uma redução de 23,2% no consumo de energia (2.391,5 → 1.837,1 kW) e 15,6% nas emissões indiretas de CO ₂ (5.894,3 → 4.976,9 t/ano), mantendo o teor de água no gás seco dentro do alvo de 18 ppm.

Em complemento às simulações, a literatura evidencia o acoplamento de softwares de otimização matemática para refinar os resultados termodinâmicos. Ferramentas de cálculo avançado, como o LINGO e MATLAB, foram empregadas para processar equações não lineares complexas e executar algoritmos metaheurísticos, como a Otimização de Colônia de Formigas (EACO). Essa integração permitiu identificar, com precisão matemática, as condições operacionais ótimas que minimizam as emissões de BTEX sem violar as rígidas restrições de ponto de orvalho.

Embora ferramentas de simulação comercial, como Aspen Hysys[®] sejam indispensáveis para o dimensionamento e projeto de engenharia, esta revisão sistemática identificou limitações intrínsecas à modelagem quando confrontada com a complexidade operacional real. Os simuladores convencionais fundamentam-se no cálculo do equilíbrio termodinâmico ideal (líquido-vapor), assumindo condições de estado estacionário e fluidos puros, isentos de contaminantes externos ou perturbações mecânicas, ou seja, o software prevê como o sistema se comportaria em um cenário perfeito, onde as misturas atingem o equilíbrio de fases instantaneamente e sem interferências.

Contudo, a realidade operacional é dinâmica e sujeita a variáveis que os modelos termodinâmicos padrão não contemplam. Um exemplo crítico é a formação de espuma (*foaming*), um distúrbio operacional que reduz drasticamente a eficiência do contato gás-líquido. O estudo de Liang et al. (2025) demonstrou que este fenômeno é severamente agravado pela presença de partículas sólidas de carbonato de cálcio (como CaCO₃) e sais inorgânicos dissolvidos na corrente de alimentação, impurezas comuns em plantas reais, mas raramente contabilizadas nas simulações de projeto. Adicionalmente, instabilidades hidrodinâmicas representam outro desafio de modelagem, especialmente em aplicações *offshore*, Zhu et al. (2024) evidenciaram que as oscilações físicas da plataforma flutuante (FPSO), causadas pelo movimento das ondas, alteram a distribuição do líquido no interior das colunas de absorção, prejudicando a transferência de massa. Esse fator mecânico dinâmico é ignorado pelos simuladores de estado estacionário, que consideram a coluna estática e verticalmente perfeita.

Fica evidente, portanto, que existe uma lacuna entre o "projeto idealizado" (baseado em termodinâmica pura) e a "operação real" (sujeita a contaminantes e instabilidades mecânicas). Essa discrepância justifica a crescente adoção de técnicas de Inteligência Artificial, discutidas a seguir, capazes de aprender com os dados reais da planta e prever comportamentos não-lineares que escapam à modelagem tradicional.

3.2 Inteligência artificial e aprendizado de máquina

O segundo pilar, concentra-se na aplicação de Inteligência Artificial (IA) e algoritmos de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*), transcendendo o design estático para focar na predição dinâmica de variáveis e no diagnóstico de falhas em tempo real. A literatura ressalta a complexidade do processo de desidratação, e demonstra como o processo sempre está sujeito a variações seja na composição do gás, oscilações ambientais, isso torna os modelos insuficientes para certas demandas operacionais. Nesse contexto, as soluções baseadas em dados (*data - driven*) destacam-se em três frentes principais: Gêmeos Digitais (*Digital Twins*), Algoritmos Híbridos e Processos Gaussianos (GP).

- Gêmeos Digitais (*Digital Twins- DG*)

O GD se apresenta como uma ferramenta de grande importância para a “consciência situacional” da planta. Alguns dos estudos descrevem a implementação de modelos virtuais que espelham o comportamento físico da unidade de desidratação. Por se validar com dados reais, o GD permite prever condições operacionais com erro relativo inferior a 10%, assim antecipando desvios críticos que passariam despercebidos em sistemas convencionais (Ren et al., 2024).

- Algoritmos Híbridos

A medição acaba se tornando uma dificuldade tanto ambiental, quanto operacional, teores de BTEX e o ponto de orvalho são exemplos discutidos em alguns estudos em que a pesquisa recorre a modelos híbridos. Algoritmos como o XGBoost (*Extreme Gradient Boosting*) demonstrou superioridade na predição de variáveis complexas. Um destaque válido a ser abordado é o acoplamento destes algoritmos com técnicas de otimização metaheurística, como o Algoritmo de Otimização Aritmética (AOA), que ajusta hiperparâmetros do modelo para garantir máxima precisão na estimativa tanto de poluentes quanto na eficiência da secagem (Wang, Zhao e Van Hoang, 2024).

- **Processos Gaussianos (GP)**

A operação segura de gasodutos exige o monitoramento contínuo do ponto de orvalho da água. Tradicionalmente, essa medição depende de instrumentos físicos que, devido ao contato constante com contaminantes corrosivos do gás, apresentam baixa confiabilidade e falhas frequentes. Para superar essa limitação, a indústria adotou a "predição virtual": o uso de softwares que calculam o ponto de orvalho em tempo real baseando-se em variáveis mais estáveis, como pressão e temperatura. Neste contexto, a técnica de Processos Gaussianos (GP) se destacou. Diferente de modelos convencionais que fornecem apenas um valor numérico, o GP é um método probabilístico: ele entrega a previsão do valor (ex: -10°C) acompanhada de uma margem de incerteza (confiabilidade). Isso oferece maior segurança para a tomada de decisão dos operadores.

Para construir esse modelo, utilizou-se primeiramente um algoritmo de Árvore de Decisão (GBDT) para filtrar os dados da planta. De 36 variáveis monitoradas, o algoritmo identificou as 15 mais impactantes, descartando "ruídos" desnecessários. Ao processar apenas os dados essenciais, o modelo GP demonstrou ser superior às redes neurais clássicas: ele apresentou maior capacidade de generalização (acertando mais em cenários novos) e menor risco de *overfitting* (não apenas "decorando" os dados antigos), provando ser uma solução robusta para o monitoramento automático.

3.3 Investigação experimental e tecnologias emergentes

O terceiro pilar foca na validação física e inovação de *hardware*. Estudos experimentais foram cruciais para caracterizar fenômenos físico-químicos, como o impacto de contaminantes na tensão superficial do TEG, e para propor tecnologias disruptivas:

- **Leito Rotativo (RPB):** substitui a gravidade estática pela força centrífuga para intensificar a transferência de massa. Chen et al. (2021) comprovaram que a operação a 600 rpm permite reduzir o volume do equipamento em 8 vezes mantendo a eficiência, sendo ideal para plataformas *offshore*.
- **Membranas Híbridas:** as Membranas de Matriz Mista (MMMs) superam o "Limite de Robeson", oferecendo alta permeabilidade e seletividade. Tornam-se competitivas com o TEG quando a permeabilidade à água excede 500 GPU, eliminando o uso de solventes (Yanum et al., 2025).

Em resumo, o RPB representa uma inovação incremental (eficiência de espaço mantendo o TEG), ideal para instalações existentes (*brownfield*). Já as membranas são uma inovação disruptiva (eliminação do solvente), promissora para novos projetos sustentáveis (*greenfield*).

3.4 Parâmetros chave para otimização

A eficiência da desidratação depende do equilíbrio entre pureza do TEG, consumo energético e emissões. Na etapa de regeneração, a temperatura do refeedor é crítica: deve ser alta o suficiente para purificar o glicol, mas limitada a 204°C para evitar degradação térmica. A operação em pressão reduzida (vácuo, 25-40 kPa) facilita a separação da água ao reduzir o ponto de bolha da mistura, protegendo o solvente. O aumento excessivo do gás de *stripping*, embora melhore a regeneração, intensifica as perdas de TEG e emissões de BTEX. O Quadro 2 consolida os parâmetros ótimos identificados na literatura.

Na etapa de absorção, pressões elevadas (>10 bar) favorecem a remoção de água, enquanto altas temperaturas na alimentação reduzem a eficiência e aumentam a volatilidade de compostos tóxicos. O "conflito central" reside no fato de que maximizar a pureza do TEG (via aumento de vazão ou calor) eleva proporcionalmente o consumo energético e as emissões. A otimização paramétrica busca o ponto ótimo matemático desse trade-off, com estudos reportando reduções de até 34,6% no custo operacional (Chong, Foo e Putra, 2023).

Quadro 2. Comparação de Parâmetros Operacionais Ótimos Identificados.

Estudo	Metodologia	Temperatura Do Refervedor (°C)	Pressão Ideal (kPa)	Resultado Principal
Moghaddam (2023)	Simulação (HYSYS)	190,97	40,52	Pureza 96,51%
Moghaddam (2024)	IA (Machine Learning)	205,00	40,00	Pureza 97,52%
Shoab et al. (2024)	Otimização (LINGO)	190,00	-	Redução de 81% em BTEX
Chen et al. (2021)	Experimental (RPB)	200,00	-	Redução de volume em 8x

4 Conclusões

A presente revisão sistemática, fundamentada na análise de 25 artigos, permitiu traçar um panorama amplo e detalhado das estratégias tecnológicas para a desidratação de gás natural. A pesquisa evidencia que, embora o processo de absorção com trietilenoglicol (TEG) permaneça como padrão industrial dominante devido à sua confiabilidade, o foco acadêmico e técnico deslocou-se da simples operação para a otimização rigorosa. Conclui-se que o desenvolvimento da área e os principais avanços obtidos estão alicerçados em três pilares metodológicos distintos:

- Consolidação da simulação computacional: ferramentas comerciais, como o Aspen Hysys®, firmaram-se como indispensáveis para a engenharia de processos, permitindo a validação segura de cenários e o dimensionamento preciso sem os riscos operacionais de testes em campo.
- Digitalização e Inteligência Artificial: observa-se uma clara tendência de modernização com a inserção de Gêmeos Digitais e algoritmos de *Machine Learning*. Essas tecnologias superam as limitações do monitoramento manual e dos modelos estáticos, oferecendo diagnóstico de falhas e previsão de parâmetros críticos em tempo real.
- Inovação experimental e intensificação: o desenvolvimento de *hardwares* avançados aponta para um futuro de equipamentos mais compactos e eficientes. Destacam-se os Leitos Rotativos (RPB), ideais para restrições de espaço, e as membranas de matriz mista, que prometem processos mais limpos e isentos de solventes.

Por fim, o estudo identificou que o principal desafio contemporâneo reside no *trade-off* entre eficiência, custo e sustentabilidade. A otimização para a máxima pureza do TEG frequentemente conflita com o aumento das emissões de BTEX e do consumo energético. Portanto, as perspectivas futuras para a desidratação de gás natural indicam a necessidade de soluções híbridas, que integrem a precisão dos modelos preditivos de IA com *hardwares* intensificados, visando operações que sejam simultaneamente eficientes, economicamente viáveis e ambientalmente responsáveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de São Paulo pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

Referências bibliográficas

Abdullah, AS, Saud, IH, Al-Asadi, AA, Homod, RZ, Al Mudhafar, WJ e Janabi, B (2024) ‘Enhanced Natural Gas Dehydration: Comparative Analysis of Three Gas Unit Models’, *Passer Journal*, v. 6, n. 2, pp. 524-535. <https://doi.org/10.24271/psr.2024.464088.1637>

Carroll, J (2020) ‘Chapter 6 - Natural Gas Hydrates’ in *A Guide for Engineers*. 4th edn. Joe Hayton, pp. 209-231.

- Chen, S, Chen, G, Zhao, X, Luo, X, Gao, H, Li, W e Liang, Z (2021) ‘Feasibility analysis and process simulation of CO₂ dehydration using triethylene glycol for CO₂ pipeline transportation’, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 40, pp. 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.12.025>
- Chen, WC, You, XG, Liu, P, Sun, BC, Chu, GW e Zhang, LL (2021) ‘Enhanced Regeneration of Triethylene Glycol Solution by Rotating Packed Bed for Offshore Natural Gas Dehydration Process: Experimental and Modeling Study’, *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 168, 108562. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108562>
- Chong, DJS, Foo, DCY e Putra, ZA (2023) ‘A reduced order model for triethylene glycol natural gas dehydration system’, *South African Journal of Chemical Engineering*, v. 44, pp. 51-67.
- Coelho, AM (2007) *Simulação e otimização dos processos de adoçamento e desidratação de gás natural e de refinaria*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, Campinas.
- Eldemerdash, UN, Abdrabou, M, El-Sheltawy, ST e Abdelghany, A (2024) ‘Assessment of chemical enhancement and energy consumption of natural gas dehydration processes’, *Gas Science and Engineering*, v. 123, 205226. <https://doi.org/10.1016/j.jgsce.2024.205226>
- Ibeh, S e Jaeger, P (2024) ‘Interfacial and mass transport phenomena in the tri-ethylene glycol-methane system at process conditions of natural gas dehydration’, *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, v. 14, n. 12, pp. 3273-3293. <https://doi.org/10.1007/s13202-024-01868-7>
- Liang, HY, Huang, Q, Li, X, Wu, Q, Yan, H, Meng, J e Long, XY (2025) ‘Investigation of the Factors and Mechanisms Affecting the Foaming of Triethylene Glycol in Natural Gas Purification’, *Processes*, v. 13, n. 5, p. 1261. <https://doi.org/10.3390/pr13051261>
- Liintin, IA, Erofeev, VI e Dzhaililova, SN (2022) ‘Osobennosti Promyslovoi Podgotovki Prirodnogo Gaza’, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University-Geo Assets Engineering*, v. 333, n. 6, pp. 96-102.
- Liu, G, Zhu, L, Hong, J e Liu, H (2022) ‘Technical, Economical, and Environmental Performance Assessment of an Improved Triethylene Glycol Dehydration Process for Shale Gas’, *ACS Omega*, v. 7, n. 2, pp. 1861-1873.
- Manning, FS e Thompson, RE (1991) *Oilfield Processing of Petroleum Volume One: Natural Gas*. Tulsa: PennWell Publishing Company.
- Miklas, V, Abdulrahman, I e Máša, V (2021) ‘Process Intensification of Triethylene Glycol Dehydration Units with Respect to Rated Energy Consumption, Emissions and Product Quality’, *Chemical Engineering Transactions*, v. 88, pp. 925-930. <https://doi.org/10.3303/CET2188154>
- Moghaddam, AH (2023) ‘Investigation of natural gas dehydration process using triethylene glycol (TEG) based on statistical approach’, *Chemical Papers*, v. 77, n. 3, pp. 1433-1443.
- Moghaddam, AH e Sadeq, AM (2024) ‘Development of supervised machine learning model for prediction of TEG regeneration performance in natural gas dehydration’, *Chemical Papers*, v. 78, n. 1, pp. 587-597.
- Mukherjee, R e Diwekar, UM (2021) ‘Multi-objective Optimization of the TEG Dehydration Process for BTEX Emission Mitigation Using Machine-Learning and Metaheuristic Algorithms’, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 9, n. 3, pp. 1213-1228.
- Nóbrega, GAS (2003) *Remoção de água de gás natural por absorção utilizando sistemas microemulsionados*. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Page, MJ et al. (2021) ‘The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews’, *The BMJ*, v. 372, n. 71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Petropoulou, EG e Voutsas, EC (2018) ‘Thermodynamic modeling and simulation of natural gas dehydration using triethylene glycol with the UMR-PRU model’, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 57, pp. 8584-8604.
- Qvistgaard, D, Kruger, F, Liang, X, Kontogeorgis, GM e von Solms, N (2022) ‘New association schemes for tri-ethylene glycol: Cubic-Plus-Association parameterization and uncertainty analysis’, *Fluid Phase Equilibria*, v. 551, 113254.

- Qvistgaard, D, Trancoso, J, Solbraa, E, Danielsen, MV, Panteli, E, Kontogeorgis, GM e von Solms, N (2023) ‘Multicomponent vapor-liquid equilibrium measurements and modeling of triethylene glycol, water, and natural gas mixtures at 6.0, 9.0 and 12.5 MPa’, *Fluid Phase Equilibria*, v. 565, 113660. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2022.113660>
- Ren, H, Dai, Z, Chen, J, Yin, A, Wu, S, Wang, K, Li, X e Chen, Z (2024) ‘Natural Gas Triethylene Glycol Dehydration Equipment Digital Twin and Condition Evaluation Application’, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 20, n. 10, pp. 12147-12156.
- Ren, H, Yin, A, Dai, Z, Liu, X, Tan, Z e Zhang, B (2023) ‘Parameter screening and optimized gaussian process for water dew point prediction of natural gas dehydration unit’, *Process Safety and Environmental Protection*, v. 170, pp. 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.12.019>
- Restrepo, SAO, Denninger, J, Dupuy, PM, Wideroe, HC, Mohnke, O, Leknes, O e Adams, A (2025) ‘Composition analysis of natural gas in the presence of liquid impurities by high-pressure proton low-field Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy’, *Energy Conversion and Management*, v. 343, 120258. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.120258>
- Rubaiee, S (2023) ‘High sour natural gas dehydration treatment through low temperature technique: Process simulation, modeling and optimization’, *Chemosphere*, v. 320, 138076. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138076>
- Shoaib, AM, Ahmed, TF, Gadallah, AG e Bhran, AA (2024) ‘Analysis Study of Available Alternatives for Mitigation of Aromatic Hydrocarbon Emissions from a Glycol Dehydration Unit’, *International Journal of Chemical Engineering*, v. 2024, 3643487. <https://doi.org/10.1155/2024/3643487>
- Solventis (s.d.) ‘Mono Ethylene Glycol’. Disponível em: <https://solventis.net/products/glycols/mono-ethylene-glycol/> (Acessado em 15 dezembro 2025).
- Talavera, RMR (2002) Caracterização de sistemas, simulação e otimização de etapas da planta de processamento de gás natural. Tese (Doutorado em Engenharia Química), UNICAMP, São Paulo.
- Tasios, G, Louli, V, Skouras, E, Solbraa, E e Voutsas, E (2025) ‘Thermodynamic modelling of systems involved in natural gas dehydration with triethylene glycol using a group contribution association model’, *Fluid Phase Equilibria*, v. 588, 114241. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2024.114241>
- Trueba Jr., L, Gaston, T, Brackin, J, Miller, J e You, BH (2022) ‘Effective strategies to reduce triethylene glycol consumption in natural gas processing plants’, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, v. 5, 100196.
- Wang, F, Zhao, J e Van Hoang, V (2024) ‘Prediction of variables involved in TEG Dehydration using hybrid models based on boosting algorithms’, *Computers & Chemical Engineering*, v. 188, 108747. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2024.108747>
- Wood, DA, Nwaoha, C e Towler, BF (2012) ‘Gas-to-liquids (GTL): A review of an industry offering several routes for monetizing natural gas’, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, v. 9, pp. 196-208. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2012.06.003>
- Yanum, R et al. (2025) ‘Recent Progress in membrane-based technology for natural gas dehydration’, *Separation and Purification Technology*, v. 379, 134957.
- Zhu, J, Cao, H, Wang, H, Zhang, S, Li, Y, Ge, X e Luo, J (2024) ‘Simulation analysis of gas-liquid flow and mass transfer in a shaking triethylene glycol dewatering absorber’, *Natural Gas Industry B*, v. 11, n. 4, pp. 420-431.