

MODELING, SIMULATION AND CONTROL OF SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER OF BRAZILIAN PRE-SAL FPSO

Data de aceite: 01/07/2024

José Andersands Flauzino Chaves

Universidade Federal de Sergipe

Gabriel Francisco da Silva

Universidade Federal de Sergipe

Rosivânia da Paixão Silva Oliveira

Universidade Federal de Sergipe

RESUMO: A produção offshore brasileira é maior que a onshore e por isso merece destaque na sua análise. Nos últimos anos a exploração offshore de petróleo no pré-sal brasileiro ganhou destaque pelo volume e contribuição social para o país. Por ter um processo complexo se torna importante simular e modelar as condições impostas aos equipamentos com maior precisão possível. Os trocadores dos FPSOs dos processos das plataformas são em sua maioria do tipo casco e tubo e por isso merecem atenção. Foi nesse cenário que foi desenvolvido modelos e simulações para controle de trocadores de calor do tipo casco e tubo a fim de avaliar condições de otimização e cenários possíveis de estabilidade do processo. Foi utilizado como base o esquema proposto pelo trabalho do Garcia e simulado em ambiente Simulink®

do Matlab® a fim de validar os modelos com dados reais da plataforma estudada. Os resultados foram satisfatórios, com desvios menores do que 10% para as variáveis analisadas e foi possível validar o modelo do Gracia com o comparativo com os dados teóricos e reais disponíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Trocador de calor casco e tubo, controle de processo, simulação e modelagem.

INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo é essencial para a vida moderna. Seja para geração de energia elétrica, movimentação de veículos ou até mesmo como insumo para fabricação de diversos componentes, podendo até o consumo de petróleo ser usado para a medição do desenvolvimento de uma nação e, por isso, continuará a ser essencial por muitas décadas até que se achem produtos substitutos economicamente viáveis para todas as suas aplicações, (COSTA, 2014).

Os desafios tecnológicos para exploração de petróleo em águas ultra profundas, pré-sal brasileiro, perpassam

as técnicas convencionais de exploração e produção, Chaves (2018). Segundo Campos et al. (2017), ambientes que apresentam situações extremas de temperatura, pressão e presença de contaminantes, como o CO₂, requerem novas abordagens para viabilizar a produção com as eficiências de referência para os processos, assim justificando os estudos nos equipamentos utilizados para processamento desse petróleo.

Os trocadores de calor são importantes nas plataformas de petróleo, pois fornecem a variação de temperatura adequada ao funcionamento dos processos. Garcia (2017) propõem uma nova forma de realizar simulação e controle de trocadores de calor casco e tubos que se torna importante para a comunidade científica, porque rompe com os modelos convencionais a parâmetros concentrados e apresenta uma forma de discretizar o modelo de sistemas de equações diferenciais de calor em estágios de simulação, assim viabilizando a simulação em Simulink® do Matlab® e assim sendo possível avaliar o controle de processo para trocadores de calor em vários cenários, Chaves (2021).

Assim, essa pesquisa terá como objetivo analisar como o modelo proposto por Garcia (2017) se aplica para o controle de dois trocadores de calor casco e tubos de uma plataforma do tipo FPSO real hoje instalada no pré-sal Brasileiro, tendo como foco avaliar a estabilidade do controle e a validação do modelo a fim de que se possa fazer avaliação de cenários que agreguem valor para a Petrobras, contribuindo para uma operação da plataforma de forma mais estável e com desenvolvimento industrial sustentável, com ambiente de trabalho seguro e respondendo a seguinte pergunta de pesquisa:

“Como modelar, simular e controlar trocadores de calor do processo de tratamento de uma plataforma do tipo FPSO, com a proposta de Garcia (2017), de forma válida e segura?”.

METODOLOGIA

O fluxograma de processo usado nesse trabalho leva em conta a condição atual da plataforma em análise. Abaixo na figura 1 segue fluxograma resumido feito para esse trabalho de acordo com a situação atual da plataforma. Os trocadores estudados são os P-1223001 e P-1223002, dotados de controladores PID e com apenas 1 passe nos tubos e 1 passe no casco para o momento atual de operação, com capacidade de operar com até 160.000 bbl/d.

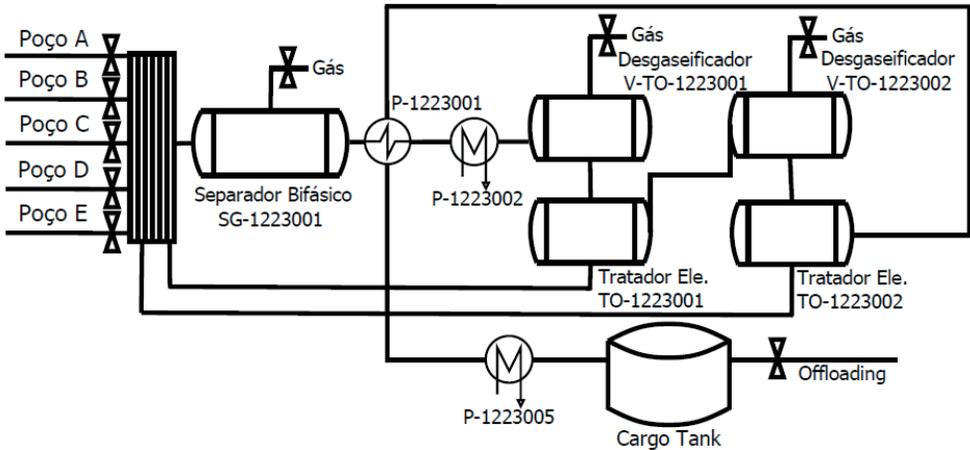


Figura 1 – Fluxograma de processo de tratamento de óleo na configuração atual.

Fonte: Dados do autor (2023).

Para modelar o sistema de transferência de calor foi feito o equacionamento seguinte, com base no que é descrito na obra de Garcia (2017) e já aplicando a nomenclatura para o caso em análise, seguido da figura 2 que mostra como ele é esquematizado:

$$\frac{d(T_{T,média})}{dt} = \frac{\rho_{T,e} Q_{T,e} c_{P,T} (T_{T,e} - T_{T,s}) + UA \Delta T_{CT}}{\rho_T V_T c_{P,T}} \quad (1)$$

$$\frac{d(T_{C,média})}{dt} = \frac{\rho_{C,e} Q_{C,e} c_{P,C} (T_{C,e} - T_{C,s}) - UA \Delta T_{CT}}{\rho_C V_C c_{P,C}} \quad (2)$$

$$\Delta T_{CT} = \frac{\Delta T_{Casco \text{ em cada seção}}}{2} - \frac{\Delta T_{tubos \text{ em cada seção}}}{2} \quad (3)$$

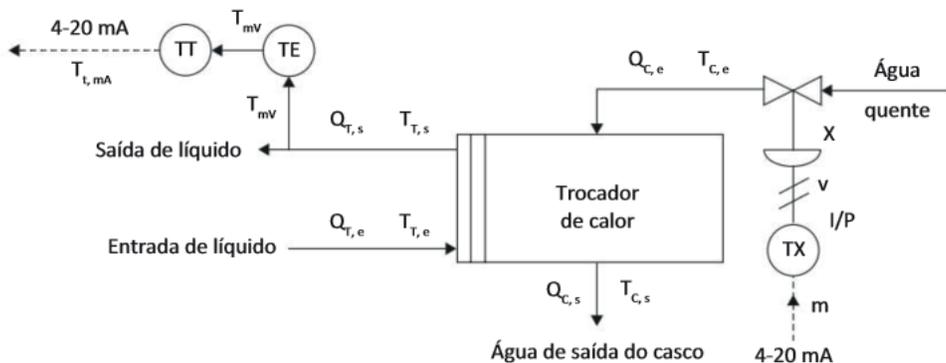


Figura 2 – Esquema de um trocador de calor casco e tubos.

Fonte: Garcia (2017).

$TT,média$ = Temperatura média nos tubos ($^{\circ}C$) e $TC,média$ = Temperatura média no casco ($^{\circ}C$);

cP,T = Calor específico do fluido nos tubos ($J/(kg.K)$);

cP,C = Calor específico do fluido no casco ($J/(kg.K)$);

TT,e e TT,s = Temperatura de entrada e saída dos tubos em cada seção ($^{\circ}C$);

TC,e e TC,s = Temperatura de entrada e saída do casco em cada seção ($^{\circ}C$);

QT,e = Vazão do fluido nos tubos (m^3/s) e QC,e = Vazão do fluido no casco (m^3/s);

UA = Coeficiente global de troca térmica (W/K);

VT e VC = Volume dos tubos e volume do casco.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O circuito que representa as equações apresentadas na metodologia, em simulink®, para cada seção pode ser visto abaixo:

Após implantado o equacionamento da transferência de calor no Simulink® é a vez de ser implementado os elementos necessários ao fechamento das malhas de controle, como é o caso dos medidores, os controladores, os atuadores e os conversores. Além disso, foram incluídos os elementos de medição dos fatores de desempenho dos controladores, onde, no caso, foram os IAE, ISE, ITAE, ITSE e CE. Segue abaixo esquema criado para realizar o controle de temperatura dos trocadores desse trabalho em ambiente Simulink®. Vale salientar que os controles de nível e pressão dos vasos separadores e tratadores desse trabalho também foram tratados como abaixo, porém, considerando as peculiaridades de cada tipo de controle e as condições impostas pelos equipamentos. Veja figura 4 abaixo.

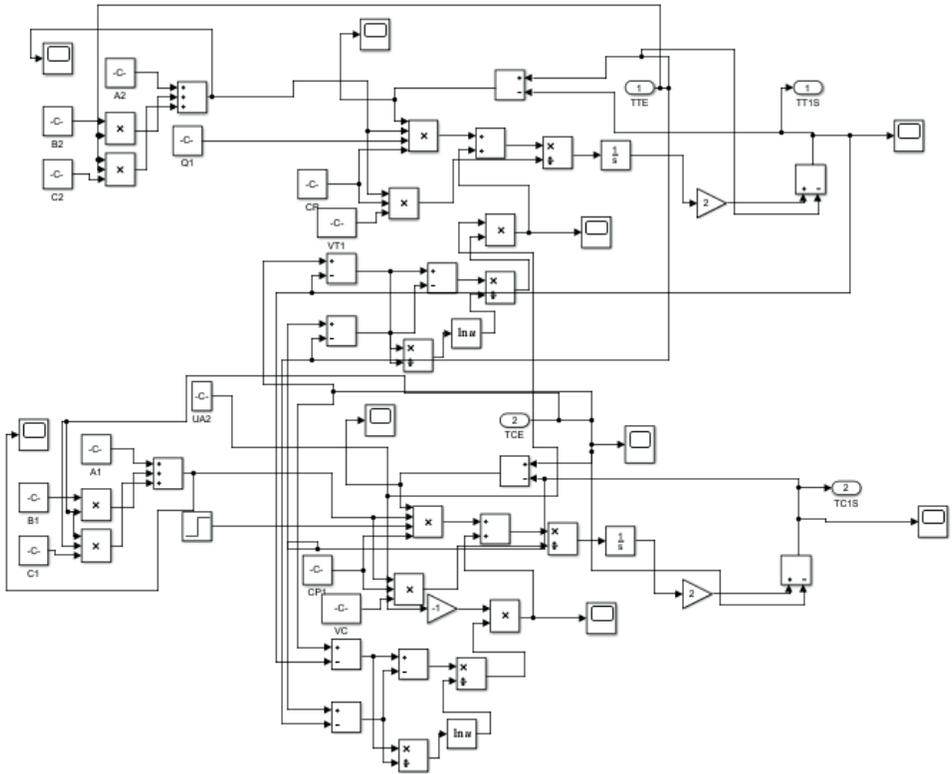


Figura 3 – Esquema elaborado pelo autor – segunda seção.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

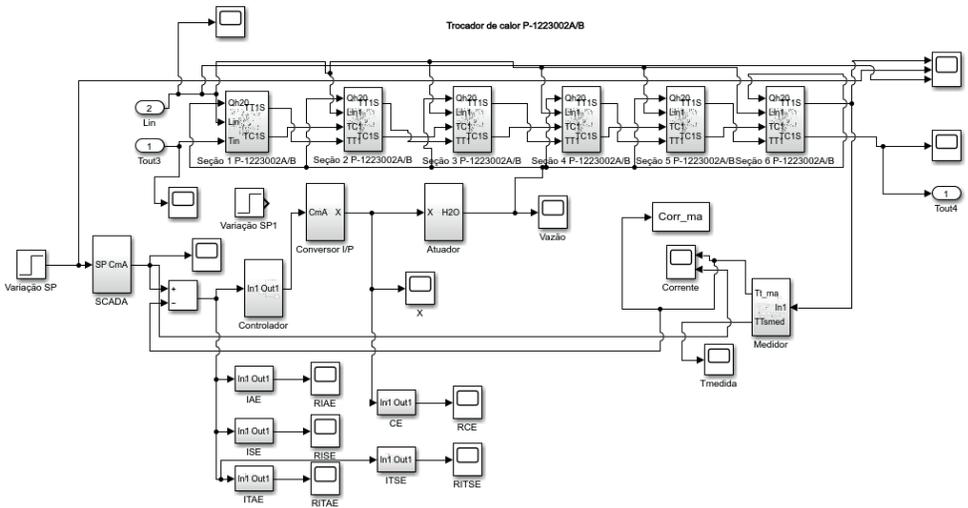


Figura 4 – Trocador de calor casco e tubo utilizado na simulação já com controlador.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Nesse caso, foi utilizado um controlador do tipo PID de acordo com o recomendado por Teixeira *et al.* (2015). Diferente do controle de interface e pressão, o medidor de temperatura tem dinâmica considerável no processo de controle e, por isso, foi considerado no dimensionamento do controle, sendo modelado por uma curva de primeira ordem com atraso e tempo morto, mas com data hold de ordem 0 para simplificar a análise ao invés do de ordem 1 como requerido para processos que tem o termo derivativo, pois, nesse caso, teve valor absoluto pequeno, onde o restante dos itens foram considerados puramente proporcionais e os atuadores com dinâmica de primeira ordem com atraso e tempo morto com data hold de ordem 0.

Ainda a fim de validar o modelo do trocador de calor casco e tubo proposto por Garcia (2017) e replicado aqui nas condições de processo, foi montada uma simulação para validar o modelo com os dados presentes no exemplo encontrado em Garcia (2017, p. 535). O diagrama elaborado no Simulink® se encontra na figura 5, onde existe o mesmo trocador repetido duas vezes, sendo aplicada uma perturbação positiva em um e uma negativa no outro a fim de expor no mesmo gráfico e tempo os valores de resposta ao degrau aplicado, podendo ser visto o resultado disso na figura 7 a fim de fazer comparativo entre os resultados mostrados na figura 6, retirada do livro Garcia (2017, p. 535).

Percebe-se que os trocadores se encontram em malha aberta e a perturbação segue o que foi indicado no livro em relação a um degrau de 0,48 mA na saída do controlador e, com isso, avaliando a resposta do medidor e saída do trocador a essa perturbação, podendo ser visto no mesmo gráfico tanto a perturbação positiva quando a negativa.

Na figura 8 pode-se ver o resultado de um ensaio em malha aberta com perturbação do tipo degrau igual ao incremento de 0,48 mA na saída do controlador a fim de avaliar no medidor de temperatura a sua deformação ao degrau e, com isso, fazer a análise do comportamento do processo, mostrando a validade do controle e modelos implementados com estabilidade e efetividade.

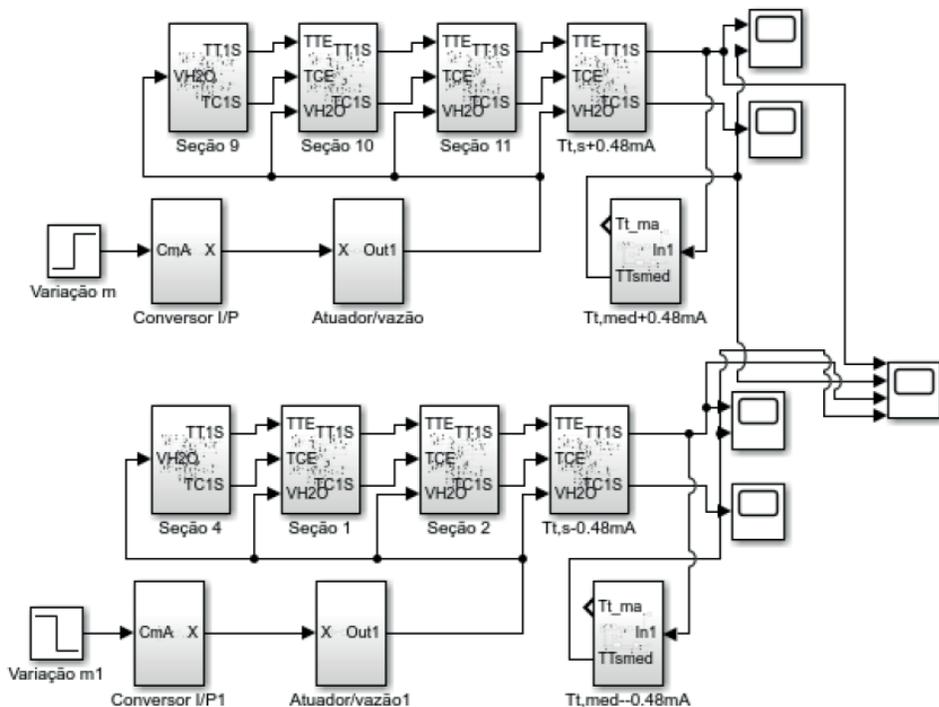


Figura 5 – Esquema da simulação para validação do modelo do trocador.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

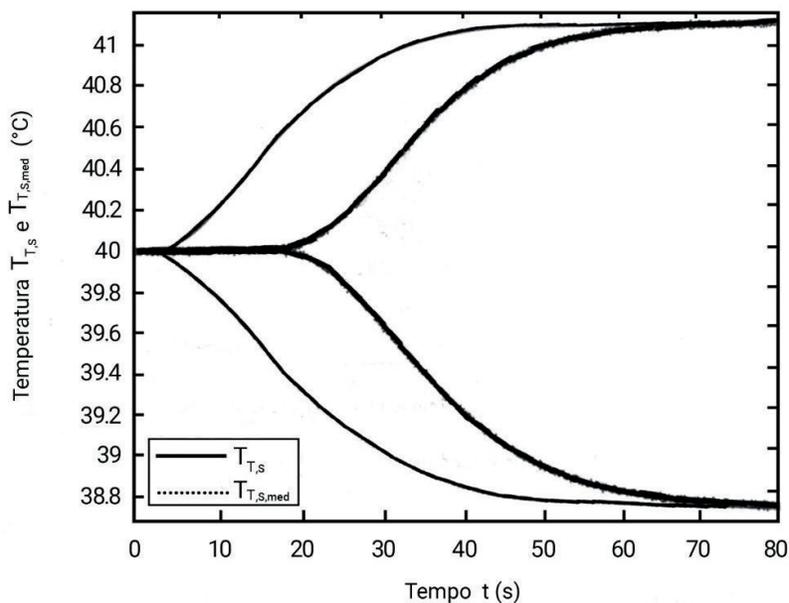
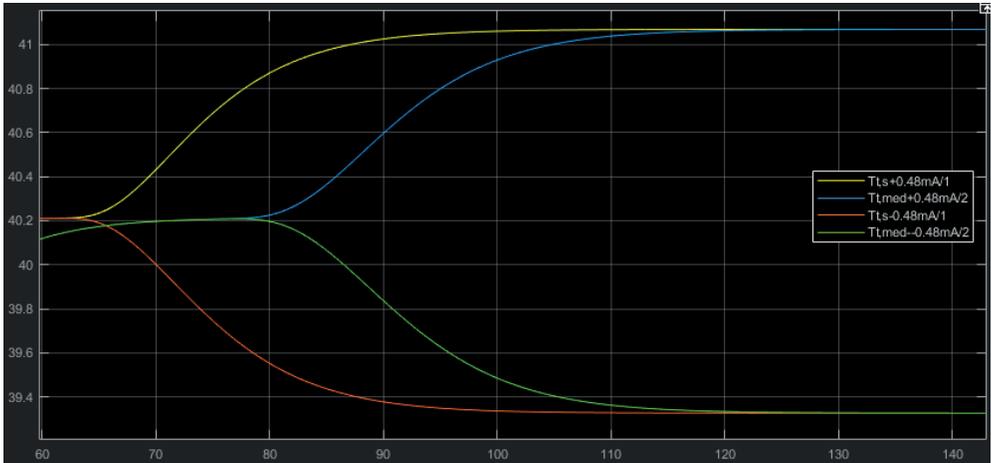


Figura 6 – Gráfico de temperatura exportada no livro ao degrau de 0,48mA na corrente de saída do controlador.

Fonte: Garcia, 2017.



Temperatura(°C) x Tempo (s)

Figura 7 – Temperatura exportada no simulador ao degrau de 0,48mA na corrente de saída do controlador.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

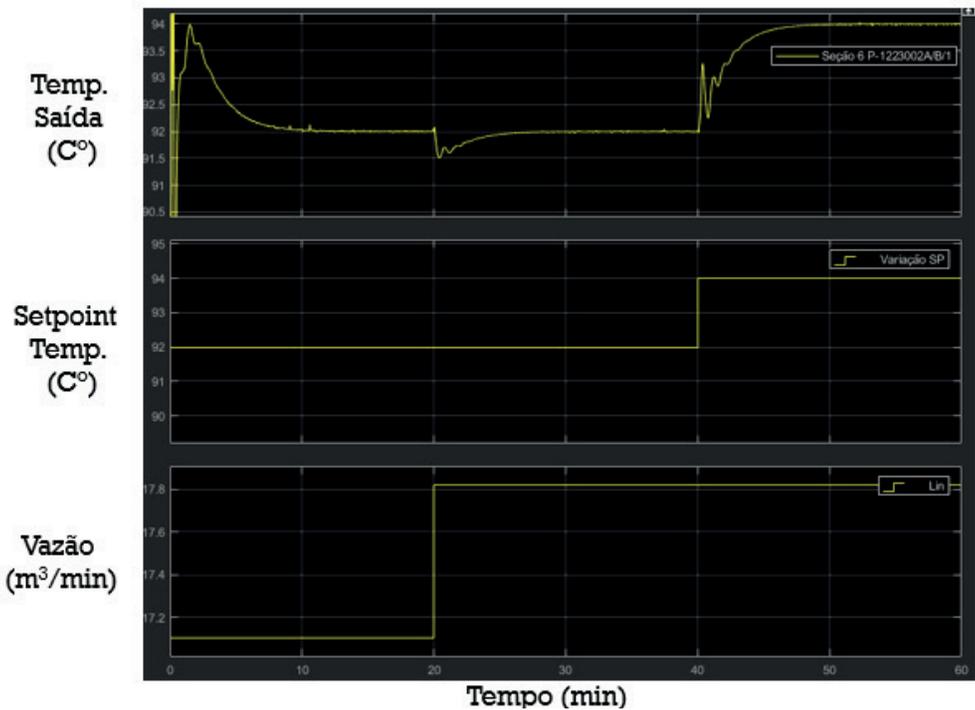


Figura 8 – Gráfico de avaliação do controle de temperatura no P-1223002.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

CONCLUSÕES

Pode-se notar a boa correlação entre as figuras 6 e 7 em relação a abertura das respostas, tempo morto e aos atrasos de tempo. As pequenas diferenças encontradas entre o valor de partida e o valor final mostrado ocorrem pela variação na metodologia de cálculo de densidade, onde o Garcia usa uma matriz para o seu cálculo e, na metodologia aqui empregada, foi usada uma correlação com base em Racket e Lu. Vale salientar que os tempos iniciais entre os gráficos são diferentes porque existe um tempo necessário a estabilização do cálculo de temperatura na simulação realizada pelo autor, dado o método numérico utilizado pelo Simlunk®, e a capacidade de processamento do microprocessador do equipamento utilizado para simulação, enquanto no gráfico do Garcia (2017), o processo já está estabilizado no tempo zero e, por isso, não precisa aguardar tempo de estabilização. No Garcia, os degraus são aplicados no tempo 0 e, nessa simulação, 4 são aplicados em 60 segundos de simulação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio e patrocínio da Universidade Federal de Sergipe, UFS, RENORBIO, PETROBRAS e FAPITEC-SE.

REFERÊNCIAS

- CHAVES, J. A. F. **Ferramentas de gestão estratégica para aplicação de Normas Regulamentadoras do trabalho na indústria do petróleo e gás Onshore**. 2018. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração) Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Brasil, 2018.
- CHAVES, José Andersands Flauzino; DA SILVA, Flávio Vasconcelos; FONSECA, Rodolpho Rodrigues. **Modelagem e simulação dinâmica do processo de tratamento de óleo em um FPSO**. Apresentação de trabalho. III SEMINÁRIO DE PESQUISA EM ENGENHARIA QUÍMICA. Universidade de Federal de Sergipe. 2021.
- CAMPOS, M. C. M. M. *et al.* Intelligent system for start-up and anti-slug control of a petroleum *offshore* platform. *In: OTC Brasil*. OnePetro, 2017.
- COSTA, S. M. **A exploração do pré-sal e o futuro brasileiro**. 2014. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Contábeis) Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2014.
- GARCIA, C. Controle de processos industriais: **estratégias convencionais**. Editora Blucher, 2017.
- SHUKLA, A.; KARKI, H. **Application of robotics in offshore oil and gas industry—A review Part II**. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 75, p. 508-524, 2016.
- TEIXEIRA, H. C. G. *et al.* **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. Editora Blucher, 2015.