

Simulação e Controle de um Sistema de Separação Submarino Gás-Líquido Mix-Demix

Vinícius Holz Boemeke^{a*}, Marcelo Farenzena^{a**}, Jorge Otávio Trierweiler^{a**}, e Fábio César Diehl^{b***}

^aGrupo de Intensificação, Modelagem, Simulação, Controle e Otimização de Processos GIMSCOP, Departamento de Engenharia Química/ UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, Brasil

^bCentro de Pesquisa e Desenvolvimento / Petrobras, Rio de Janeiro

*Aluno, viniciusholzboemeke@gmail.com

**Professor, marcelo.farenzena@ufrgs.br, Jorge.Trierweiler@ufrgs.br

***fabio.diehl@petrobras.com.br

Resumo

Na exploração de petróleo, devido as características da mistura gás-líquido se alterarem ao longo do tempo, há a ocorrência de gargalos na produção nas plataformas. Uma alternativa é o balanceamento do gás e o líquido através das plataformas no chamado Mix-Demix. Neste trabalho, foram estudadas cinco estratégias de controle desta operação por meio da variação de set-point de razão gás-líquido do sistema. Nos resultados obtidos, a utilização de um controle monovariável e estratégias baseadas em razão apresentaram problemas relacionados à inversão do sinal de ganho observada em um ponto de operação. O controle preditivo multivariável conseguiu operar além deste ponto, porém sofrendo instabilidade ao final da simulação. O controle que apresentou melhor resultado foi uma estratégia baseada em balanço de massa.

Palavras-chave: Controle multivariável, Simulação computacional, separação submarina gás-líquido, exploração de petróleo.

1. Introdução

A exploração de petróleo é importante para a indústria devido à variedade de produtos obtidos de seus derivados, utilizados nas mais diversas aplicações. A mistura multifásica obtida dos poços é enviada a plataformas, onde são utilizadas diferentes unidades destinadas ao processamento dos gases e líquidos. Ao longo da exploração, há mudanças nas características dos poços conforme observado na Figura 1.

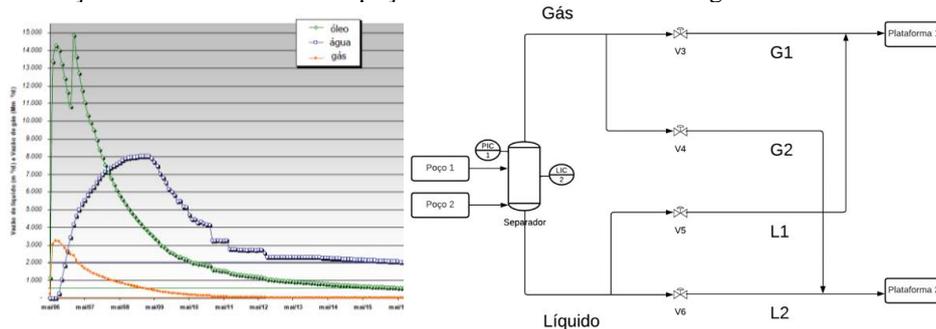


Figura 1. Produção de poço de petróleo (CEPEMAR, 2005) e planta Mix-Demix.

Sendo assim há o surgimento de um gargalo de processamento de uma fase em relação a outra, o que gera prejuízos devido a ociosidade de equipamentos. Para otimizar o processamento nas plataformas, uma alternativa é separar o gás e o líquido no leito marinho e distribuí-los entre duas plataformas de forma a atender as diferentes demandas de operação independente das mudanças de característica dos poços ao longo do tempo. Devido a esta característica de misturar correntes de poços diferentes, realizar a separação gás-líquido e recombiná-las de duas formas distintas para o direcionamento às plataformas, esta planta, registrada por Diehl et al. (2023), será denominada neste trabalho como Mix-Demix. Esta abordagem, analisada em malha aberta por Baldin, (2021) precisa ser estudada em termos da controlabilidade do sistema, visto que, além da distribuição de gás e de líquido, é preciso garantir a estabilidade, i.e. pressão e nível do equipamento de separação. Além disto, por se tratar de um sistema multivariável, é possível que existam pontos de operação com inversão de sinal de ganho, por exemplo, que obrigam a utilização de controladores mais complexos que um simples arranjo de controladores PID (proporcional-integral-derivativo).

2. Descrição da Planta MIX-DEMIX

Como base para este estudo, foram utilizadas as características de poços de petróleo já existentes. Foram utilizadas pressões de entrada e de operação do separador de 305,1 e 304,5 bar, respectivamente (Baldin, 2021). A temperatura utilizada como referência foi de 75°C (Diehl et al., 2023). As correntes multifásicas provenientes de dois poços com características diferentes são conduzidas a um separador gravitacional. Da parte superior deste equipamento, a fase gasosa é dividida em duas: a que passa pela válvula V3, direcionada à Plataforma 1, e a corrente passa pela válvula V4, direcionada à Plataforma 2. De forma semelhante, a corrente líquida do fundo do separador é direcionada parte à Plataforma 1 pela válvula V5 e parte à Plataforma 2 pela válvula V6. Desta forma, é possível manipular-se as quantidades de gás e líquido que são enviadas a cada uma das plataformas dependendo da disponibilidade de processamento destes que cada uma possui no momento.

Para o correto funcionamento do sistema mencionado, é necessário que as malhas de inventário correspondente a pressão e o nível estejam fechadas e funcionando apropriadamente. Um nível de tanque muito baixo implica em risco de escape da fase gasosa na corrente líquida. Já um tanque muito cheio implica no risco de arraste de líquido na fase gasosa. Além destas variáveis que garantem o correto funcionamento do separador, têm-se o objetivo de se definir as razões de gás e líquido (RGL) que são enviados para as plataformas. O RGL é definido como a razão entre o volume de gás e o volume de líquido corrigidos para as condições padrão (15,56 ° e 1 atm). O setpoint (SP) destas variáveis pode ser ajustado ao longo do processo de acordo com as diferentes condições de ociosidade da plataforma. Assim, os objetivos de controle são a pressão e nível do tanque de separação, além dos RGLs das plataformas 1 e 2. Para o controle destas variáveis, dispõe-se das válvulas V3, V4, V5 e V6. Por ser calculado a partir das vazões de gás e líquido que chegam às plataformas, os RGLs possuem relação não-linear com a abertura das válvulas, o que implica em erros na utilização de estratégias de controle convencionais, que são baseadas na linearização das equações de processo. Além disso, por se tratar de um sistema multivariável, é possível que as interações cruzadas entre uma válvula e uma variável de processo ao qual ela não está designada a controlar levem o sistema em uma direção oposta ao desejado em alguns pontos de operação. Este fenômeno é chamado de inversão do sinal de ganho. Um exemplo de sistema que possui este problema é o tanque quádruplo, abordado em Srivastava & Prasad (2022)

3. Metodologia

3.1. Estratégias de controle

Na Figura 2 são apresentadas as 5 estruturas de controle propostas para a planta Mix-Demix.

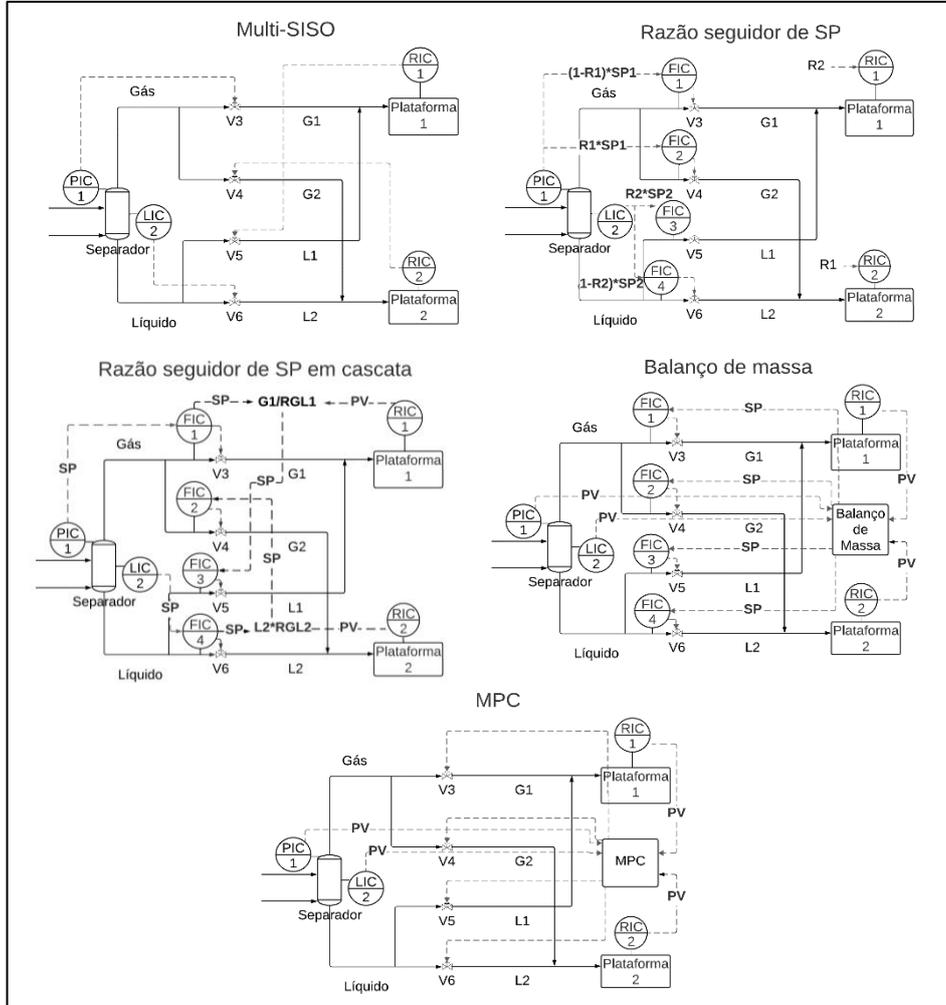


Figura 2. Fluxogramas das diferentes estratégias de controle.

Nas 4 primeiras estruturas foram utilizados controladores PI (Proporcional-Integral) em diferentes arranjos. Na primeira estrutura, foi utilizada a configuração mais simples para um sistema multivariável, chamada de Multi-SISO (*Multi-Single Input Single Output*), onde cada controlador PI fica responsável diretamente por uma variável de controle apenas.

Na segunda estrutura, denominada de controle de razão seguidor de setpoint (Correa & Passos, 2024), os controles de inventário fornecem como ação de controle valores de vazão de gás e líquido. Estes servem de set-point para controladores de vazão das correntes de gás e líquido, que atuam na abertura das válvulas. O que muda são as razões que definem a distribuição entre duas válvulas de gás, por exemplo: uma razão de 0,5 significa que metade da vazão necessária para manter a pressão no tanque de separação constante passará através da válvula V3 e a outra metade pela válvula V4. O sistema funciona de forma análoga para o controle de nível e as saídas de líquido do tanque. Estas razões, denominadas de R1 para o gás e R2 para o líquido, podem ser alteradas entre valores de 0 a 1, modificando a composição do gás e do líquido. Na terceira estrutura, denominada controle por razão seguidor de setpoint em cascata, a vazão utilizada no controle de pressão é dividida pelo RGL da plataforma 1, fornecendo o set-point para a corrente de líquido L1. De forma similar, a vazão que controla o nível de líquido é multiplicada pelo RGL2 para fornecer a vazão G2. A quarta estrutura, denominada cálculo de setpoint por balanço de massa, utiliza este balanço para, a partir das variações de nível de líquido, pressão e RGLs, estimar o comportamento esperado de cada vazão de líquido e gás após o separador, gerando uma ação em cada válvula combinadamente. A partir do sistema apresentado, têm-se os balanços de massa em estado estacionário (Tabela 1). Estas equações podem ser rearranjadas para chegar no conjunto de setpoints de vazões para as válvulas V3, V4, V5 e V6 respectivamente. Em situações que o cálculo de setpoint apresentava valor negativo, uma restrição no programa levava este valor a zero.

Tabela 1. Equacionamento do controle por balanço de massa

Balanço de Massa		Setpoints de Vazão	
$FGT = FG1 + FG2$	(1)	$FL1 = \frac{FGT - FLT * RGL2}{RGL1 - RGL2}$	(2)
$FLT = FL1 + FL2$	(3)	$FL2 = -\frac{-RGL1 * FLT + FGT}{RGL1 - RGL2}$	(4)
$RGL1 = \frac{FG1}{FL1}$	(5)	$FG1 = \frac{RGL1 * (FGT - FLT * RGL2)}{RGL1 - RGL2}$	(6)
$RGL2 = \frac{FG2}{FL2}$	(7)	$FG2 = \frac{-RGL2 * (-RGL1 * FLT + FGT)}{RGL1 - RGL2}$	(8)

A última estrutura utiliza um controlador preditivo MPC (*Model Predictive Control*) baseado em modelos para estimar o comportamento das variáveis em pontos futuros do processo. Estas estimativas são utilizadas em uma função objetivo que visa minimizar os erros futuros em relação ao set-point e os esforços das variáveis manipuladas. Para estimar os parâmetros, foram realizadas simulações realizando degraus em cada uma das variáveis manipuladas. Para cada uma destas manipulações em separado, foi verificado o comportamento das variáveis controladas pressão, nível, RGL 1 e RGL 2. Com base nas respostas do sistema, foram obtidas as funções de transferência utilizadas no modelo do MPC.

3.2. Metodologia empregada na comparação das estratégias de controle

O sistema foi simulado utilizando o software UniSim® Design R470. O programa permite simular a dinâmica de diferentes processos de forma realista, já que calcula o fluxo através de cada componente levando em consideração as diferenças de pressão nas

vizinhanças. Foram realizadas variações de RGLs em grandezas e intervalos de tempo iguais em cada estrutura. As simulações foram realizadas até que se verificasse instabilidade de alguma variável a ponto de não controlar o sistema.

4. Resultados

Na Figura 3 são apresentados os resultados das simulações.

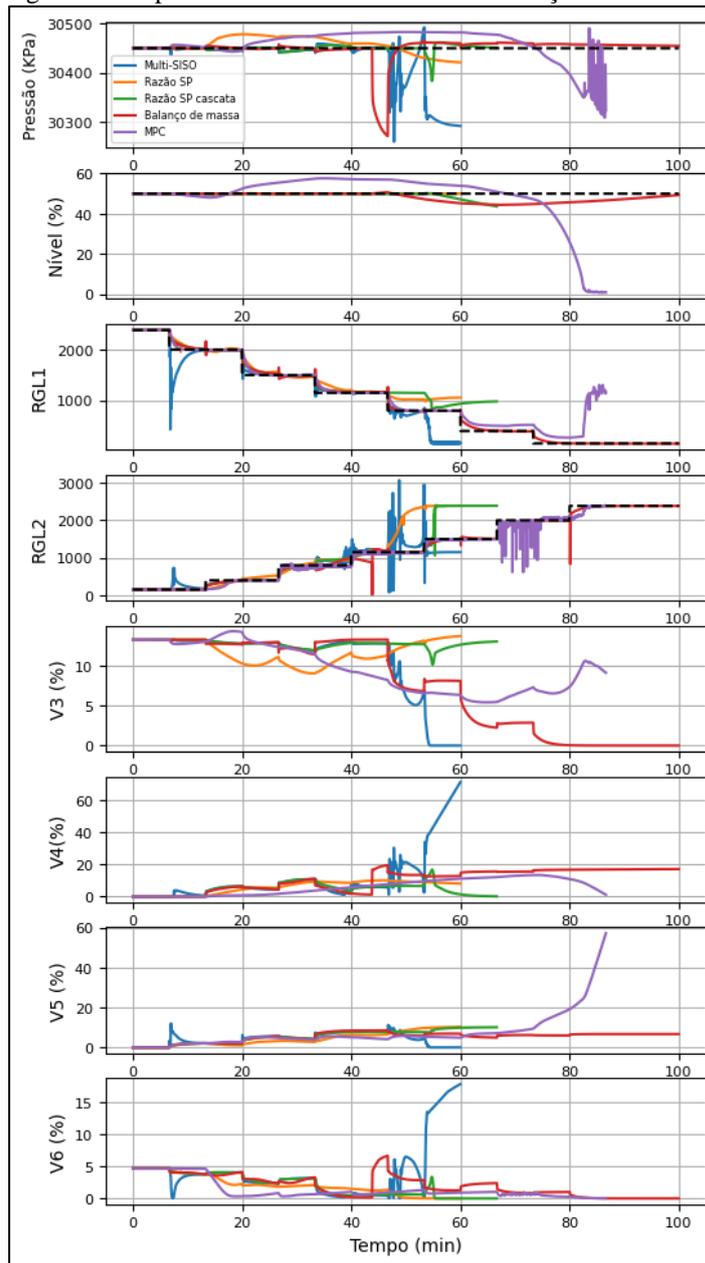


Figura 3. Simulação das estratégias de controle

Nos três primeiros casos, foi possível controlar o sistema até o ponto de operação onde os RGLs das duas plataformas se tornaram iguais. A partir deste ponto, não foi possível atingir o set-point desejado devido à inversão do sinal de ganho da planta, situação na qual uma variável manipulada inicialmente tinha maior influência sobre uma variável controlada, passa a ter maior influência sobre a outra, impossibilitando que se atinja objetivo designado. Nos dois primeiros casos, a pressão ficou abaixo do especificado. No controle por razão seguidor de SP em cascata, o nível do tanque foi esgotado. Utilizando as duas últimas estruturas, foi possível controlar a planta além do ponto de operação de RGLs iguais. Entretanto, utilizando o controle MPC, houve esvaziamento do tanque e instabilidade da pressão. De todas as estruturas, apenas a estrutura baseada em balanço de massa conseguiu êxito durante toda simulação. Tal desempenho pode ser explicado pela inclusão de uma restrição no controle de vazão, que leva o set-point de vazão a zero em caso de calcular um valor negativo. Esta característica não-linear do controlador impede que haja abertura de válvulas em um sentido indesejado em situações que é impossível atingir o objetivo por meio daquela variável manipulada, inibindo interações cruzadas.

5. Conclusão

As estruturas de controle Multi-SISO e de razão não conseguiram controlar a planta em situações a partir da qual o RGL da plataforma 2 passa a ser maior que da plataforma 1. O controle MPC controlou a planta a partir deste ponto, mas se tornou instável em valores elevados de RGL da plataforma 2. Das cinco estruturas analisadas, a que conseguiu controlar todos os pontos de operação analisados foi a de controle baseada em balanço de massa.

Agradecimentos: a Petrobras/ANP pelo fomento financeiro.

Referências

- Baldin, D. F. (2021). *Desenvolvimento de Modelo Matemático para a unidade subsea MIX-DEMIX* [Trabalho de Conclusão de Curso]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CEPEMAR. (2005). *Produção e escoamento - Campo de golfinho ES*. https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/RIMAS/RIMAS_2005/Produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20escoamento%20-%20Campo%20de%20golfinho%20ES.pdf
- Correa, P. V., & Passos, L. F. (2024). *TDPS – Estratégias de controle para processos industriais - Controle de razão*. https://apcmode.com/?page_id=360
- Diehl, F. C., Albuquerque, F. A., Machado, T. O., Silva, J. P., Da Silva, L. C. T., Duarte, D. G., Bidart, A. M. F., Lima, D. L., Da Silva, F. S., & De Souza, M. A. (2023). *Phase Management System In Oil And Gas Production Subsea Streams*.
- Srivastava, A., & Prasad, L. B. (2022). A comparative performance analysis of decentralized PI and model predictive control techniques for liquid level process system. *International Journal of Dynamics and Control*, 10(2), 435–446. <https://doi.org/10.1007/s40435-021-00814-3>