

# Decomposição de *Benders* para Otimização da Produção de Campos de Petróleo Operados com Injeção de Gás

Proposta de Dissertação de Mestrado

Orientador: Eduardo Camponogara

## 1 Informações Gerais

- **Áreas de concentração:** algoritmos e otimização.
- **Início:** agosto/2019.
- **Previsão de término:** fevereiro/2021.
- **Requisitos desejados:** experiência em projeto e análise de algoritmos, fundamentação teórica em álgebra e cálculo, familiaridade com simuladores e domínio de linguagens de programação.

## 2 Objeto da Pesquisa

### 2.1 Problemática

O rápido desenvolvimento das tecnologias de medição digital para poços e sistemas de produção de petróleo, como a pressão de fundo via sensores de fibra ótica, possibilitou a aplicação de técnicas avançadas de automação de poços [12]. Isto tem permitido a otimização dos processos de exploração, a flexibilização das operações, a redução dos custos operacionais e, finalmente, o aumento do fator de recuperação de reservatórios complexos, conforme ilustra a Figura 1 [2, 18, 5, 7]. Esta tendência tem recebido diferentes denominações como *Smart Wells*, *Smart Fields*, *Intelligent Fields*, e, na Petrobras, se tornou conhecida como a iniciativa de *Digitalização de Campos de Petróleo*. Os desafios científicos e tecnológicos para tornar a tecnologia de campos inteligentes em uma realidade são inúmeros.

No contexto acima, a operação otimizada da injeção contínua de gás em poços sujeita a restrições operacionais constitui uma família de problemas de interesse científico e tecnológico.

Vários trabalhos relacionados ao problema de alocação ótima de gás de injeção estão disponíveis na literatura, em destaque resultados obtidos no âmbito



### 3 Metodologia

O plano de trabalho consiste de etapas metodológicas para se alcançar os objetivos propostos. São elas:

1. cursar a disciplina DAS-410049 de programação inteira (2º semestre de 2019);
2. revisar a literatura acerca de modelagem, controle e otimização de processos unitários de plataformas de produção de petróleo marítimas, em particular compressores de *gas-lift*, poços com injeção contínua de *gas-lift*, separadores e linhas de produção [11, 8].
3. propor modelos em programação matemática para o problema de alocação de gás de injeção [9, 17, 16];
4. estudar a decomposição de *Benders* [1, 13, 10];
5. propor uma reformulação do problema de otimização da produção de campos de petróleo com injeção de gás que seja adequada para a decomposição de *Benders*;
6. projetar, implementar e testar um algoritmo de otimização a partir da decomposição de *Benders*, em que o problema mestre distribui os recursos de forma ótima (gás de elevação, capacidade de tratamento de água e capacidade de processamento de fluidos, entre outros recursos) e cada problema otimiza a produção de um poço particular com os recursos alocados;
7. avaliar extensões do problema básico para considerar poços com manifold submarino, perda de carga em linhas de escoamento (modelagem de pressão), múltiplos sistemas de processamento e separação de fluidos, e alinhamento poço-separador.
8. redação de artigo;
9. redação da dissertação;
10. defesa.

**Ferramentas de Desenvolvimento:** Julia e JuMP (Julia Mathematical Programming); simulador de escoamentos PIPESIM; *Solver* ILOG CPLEX para programação inteira mista; e linguagem de modelagem matemática AMPL [9].

### 4 Projetos de Pesquisa

A dissertação será desenvolvida no âmbito do projeto intitulado “*Estratégias para Otimização Estática e Dinâmica de Sistemas Marítimos Complexos de Produção de Óleo e Gás*” em cooperação com o Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES-Petrobras).

## Bibliografia de Referência

- [1] J. F. Benders. Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems. *Numerische Mathematik*, 4(3):238–252, 1962.
- [2] D. Boothroyd. Unmanned platforms need multifunctional control. *Computing & Control Engineering Journal*, pages 274–276, December 1994.
- [3] E. Camponogara and A. M. de Conto. Gas-lift allocation under precedence constraints: MILP formulation and computational analysis. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, pages 544–551, 2009.
- [4] E. Camponogara and P. Nakashima. Solving a gas-lift optimization problem by dynamic programming. *European Journal of Operational Research*, 174(2):1220–1246, 2006.
- [5] E. Camponogara, A. Plucenio, A. F. Teixeira, and S. R. V. Campos. An automation system for gas-lifted oil wells: Model identification, control, and optimization. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 70:157–167, 2010.
- [6] E. Camponogara, A. F. Teixeira, E. O. Hulse, T. L. Silva, S. Sunjerga, and L. K. Miyatake. Integrated methodology for production optimization from multiple offshore reservoirs in the Santos Basin. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 14:669–680, 2017.
- [7] S. R. V. Campos, A. F. Teixeira, L. F. Vieira, and S. Sunjerga. Urucu field integrated production modeling. In *Proceedings of the SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition*, Utrecht, The Netherlands, March 2010.
- [8] J. N. M. de Souza, J. L. de Medeiros, A. L. H. Costa, and G. C. Nunes. Modeling, simulation and optimization of continuous gas lift systems for deepwater offshore petroleum production. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 72:277–289, 2010.
- [9] R. Fourer, D. M. Gay, and B. W. Kernighan. *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*. Boyd & Fraser Publishing Company, 1993.
- [10] Ignacio Grossmann. Class notes for process systems engineering. Technical report, Carnegie Mellon University, 2017.
- [11] F. Jahn, M. Cook, and M. Graham. *Hydrocarbon Exploration and Production*. Elsevier, 2003.
- [12] J. P. Jordanou, E. A. Antonelo, and E. Camponogara. Online learning control with echo state networks of an oil production platform. To appear in *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 2019.
- [13] Leon S. Lasdon. *Optimization Theory for Large Systems*. Dover Publications, 2002.

- [14] R. Misener, C. E. Gounaris, and C. A. Floudas. Global optimization of gas lifting operations: a comparative study of piecewise linear formulations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48:6098–5104, 2009.
- [15] P. H. R. Nakashima and E. Camponogara. Solving a gas-lift optimization problem by dynamic programming. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A*, 36(2):407–414, 2006.
- [16] H. P. Williams. *Model Building in Mathematical Programming*. John Wiley, 1997.
- [17] L. A. Wolsey. *Integer Programming*. John Wiley & Sons, 1998.
- [18] B. Yeten, D. R. Brouwer, L. J. Durlofsky, and K. Aziz. Decision analysis under uncertainty for smart well deployment. *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 43:183–199, 2004.