



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

Experiência de Montagem e Oferecimento da Disciplina “Operações Unitárias II” da Engenharia Química - Escola Politécnica da USP

F. M. RONQUIM¹, M. E. S. TAQUEDA²

^{1,2}Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: flavia.mronquim@yahoo.com.br

RESUMO – *No presente projeto, foram analisadas as experiências de montagem e oferecimento da disciplina Operações Unitárias II (OP II) da Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, tendo-se como referência documentos e relatos da livre docente que ministra a matéria em questão. Desta forma, apresentou-se uma crítica ao modelo tradicional de ensino e à montagem da disciplina com base em entrevistas respondidas pelos alunos que cursaram a disciplina. As respostas das entrevistas foram relacionadas com as estratégias adotadas no que se refere à aprendizagem e ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de habilidades e competência dos alunos. Também se analisou as ferramentas de ações educativas utilizadas na disciplina e os métodos de avaliação dos alunos, buscando-se estabelecer um paralelo das características das ações educativas com os resultados alegados quanto à motivação, aprendizado e aprovação dos alunos. As estratégias de ensino adotadas pela professora apresentaram críticas satisfatórias, apresentando um feed back positivo por parte dos alunos. Tais estratégias se focaram no aprendizado técnico, não deixando de contemplar atividades que complementem o desenvolvimento das habilidades de comunicação e atuação profissional do engenheiro químico na indústria ou na academia.*

1. INTRODUÇÃO

O conceito geral de "operação unitária" estabelecido por Little (1915 apud ISENMANN, 2013) compreende a divisão de um processo químico em uma série de etapas básicas, que podem incluir: transferência de massa, transporte de sólidos e líquidos, destilação, filtração, cristalização, evaporação e secagem. Operações unitárias são, portanto, sequências de operações físicas necessárias à viabilização econômica de um processo químico, sendo que o conjunto de todas as etapas compõe um processo unitário.

Segundo Roitman (2012), a disciplina de Operações Unitárias (OP) é aquela que classifica e estuda separadamente, os principais processos físico-químicos utilizados na indústria química. No curso de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP (EP-USP), existem 3 disciplinas sequenciais de operações unitárias (OP I, OP II e OP III) que, associadamente, englobam todo o conteúdo referente à: transporte de fluidos e separações de suspensões, poeiras e névoas (em OP I);

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

troca de calor, evaporação, psicrometria e secagem de sólidos (em OP II); destilação, extração, cristalização e separação por membranas (em OP III).

2. OBJETIVO

Os objetivos gerais da disciplina OP II foram: fornecer aos alunos uma visão tecnológico-industrial, com aplicação dos conceitos teóricos de fenômenos de transporte, enfatizando-se dimensionamento e operação de equipamentos da indústria química. A disciplina OP II visou habilitar os alunos na visão sistêmica de processos químicos, na capacitação em planejamento de projetos e, finalmente, na aplicação de conhecimentos científicos e tecnológicos na engenharia. Os objetivos específicos da disciplina OP II foram separados em três categorias que englobassem: conhecimentos, habilidades e valores e atitudes:

2.1. Conhecimentos

- Saber realizar balanços de massa e energia;
- Conhecer os conceitos básicos envolvidos nos processos de troca de massa e energia e
- Conhecer os princípios de funcionamento e classificação e dos principais equipamentos de operações unitárias da indústria química (trocadores de calor, evaporadores, psicômetros e secadores).

2.2. Habilidades

- Desenvolver a capacidade para identificar, formular e resolver problemas de engenharia;
- Apresentar casos práticos com discussão e solução de problemas que usualmente ocorrem nos processos industriais;
- Projetar principais equipamentos de operações unitárias da indústria química e
- Analisar resultados obtidos a partir da resolução de modelos e projetos compreendendo as limitações das hipóteses simplificadoras adotadas.

2.3. Valores e Atitudes

- Desenvolver a capacidade de realizar atividades individualmente e em equipe;
- Desenvolver a comunicação escrita, oral e gráfica;
- Respeitar os prazos estipulados, assim como horários de início e término de aula;
- Posicionar-se enquanto engenheiro e cidadão com princípios de ética e valores e
- Ter visão sistêmica e interdisciplinar na solução de problemas técnicos.

3. METODOLOGIA DE ENSINO

A disciplina OP II, de graduação de Engenharia Química da EP-USP é idealmente oferecida no 6º semestre; momento a partir do qual estão se encerrando as matérias do ciclo básico da engenharia química e iniciando-se as matérias mais aplicadas e mais voltadas à indústria química, como: Resistência dos Materiais, Cálculo de Reatores; Análise de Processos Químicos, Instrumentação e Controle; e, finalmente, Projeto e Simulação de Processos Químicos (EP-USP, 2013).

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

É, também, a partir do 3º ano, que o curso de Engenharia química passa a ser oferecido em formato de educação cooperativa, sendo esta uma metodologia de ensino na qual o aprendizado contínuo ocorre pela associação de aulas acadêmicas com práticas de trabalho em empresas. Tal formato é composto por módulos quadrimestrais, alternando-se cinco módulos acadêmicos com quatro módulos de estágio. Nos módulos acadêmicos, a ênfase é na permanência do aluno dentro da universidade; Já nos módulos de estágio, são reservados quadrimestres na grade curricular para o exercício de atividades em empresas e instituições que mantêm convênios com a Escola Politécnica (EP-USP, 2013).

Nesta metodologia, após adquiridos conhecimentos básicos da engenharia o aluno torna-se apto a relacionar os conceitos teóricos e práticos visto em aula na resolução de problemas da engenharia já sentidos na prática. Percebe-se, desta forma, que a adesão da disciplina OP II ao projeto pedagógico do Engenharia Química da EP-USP contribui para o sucesso da metodologia cooperativa de ensino.

3.1. Adesão da disciplina ao projeto pedagógico

A disciplina OP II utiliza as concepções teóricas, principalmente, de fenômenos de transporte, (que compreende transferência de quantidade de movimento, energia e matéria), aplicando-os aos processos da engenharia química. O conhecimento de fenômeno de transporte é, portanto, indispensável para o bom entendimento das operações unitárias, ainda que não exista a imposição de pré-requisito para que os alunos cursem as disciplinas oferecidas na EP.

Quando as matérias da grade curricular são seguidas de modo ideal, as disciplinas de fenômeno de transporte antecipam o referente conteúdo de operações unitárias. Este sistema (com ausência de pré-requisito obrigatório), contudo não impede que os alunos cursem as disciplinas na ordem em que se sentirem aptos a realizá-las ou que, a não aprovação em alguma disciplina, obrigatoriamente, prolongue o período de graduação.

3.2. Proposta de estratégias para aprendizagem.

As diversas estratégias para aprendizagem utilizadas em OP II foram adotadas com o intuito de se alcançar os objetivos propostos, considerando-se: conhecimento, habilidades e valores e atitudes. Tais objetivos, já enunciados, foram baseados nas diretrizes curriculares do MEC para graduação em engenharia (INEP, 2014) e nas diretrizes curriculares do Enade para o curso de engenharia química. (CNE/CES, 2002) As estratégias adotadas podem ser vistas na tabela 1, sendo estas associadas à epítome dos objetivos propostos.

Nas aulas expositivas, optou-se pela utilização de lousa e *data show* para a transmissão do conteúdo didático aos alunos. A lousa foi principalmente empregada para definição de conceitos e cálculos. Já o *data show* foi usado para a ilustração e melhor visualização da aplicação e funcionamento dos processos unitários. A estratégia definida como “exemplo” caracteriza-se como a apresentação de casos práticos recorrentes indústria química e resolução pelo professor de exercícios-chave, passo-a-passo e na lousa, sendo aberto espaço em sala-de-aula para discussão e solução dos problemas expostos. Nas estratégias relacionadas à resolução de exercícios individualmente ou em

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



grupo, os alunos resolvem listas de exercícios, colocando em prática a teoria vista nas aulas expositivas, com auxílio do professor e do monitor para tirada de dúvidas.

Tabela 1- Estratégias e ferramentas adotadas para se atingir os objetivos em conformidade com as diretrizes curriculares.

Estratégias	Ferramentas	Compreender os conceitos básicos da engenharia	Comunicar-se eficientemente nas formas escrita, oral e gráfica.	Avaliar criticamente a operação e a manutenção de sistemas	Identificar, formular e resolver problemas de engenharia.	Conceber, projetar e analisar sistemas, produtos e processos.	Avaliar a viabilidade econômica de projetos de engenharia
Aula Expositiva	Lousa e <i>data show</i>	X			X	X	
Exemplos	Lousa e <i>data show</i>	X			X	X	
Exercícios individuais	Listas e lousa	X			X	X	X
Exercícios em grupo	Listas	X	X		X	X	X
Projeto em grupo	Projeto	X	X	X	X	X	X
Seminário	<i>Data show</i>	X	X	X	X	X	X

Inicialmente, todo o conteúdo teórico foi apresentado nas aulas expositivas, sendo que, no máximo, a cada uma ou duas aulas teóricas, havia aprofundamento e fixação da matéria com exemplos e resolução de exercícios. Esta estratégia favoreceu a retroalimentação durante o curso, sendo o conteúdo programático adaptando às necessidades dos alunos no processo de aprendizagem. A ferramenta de aprendizado chamada de “exemplo”, no entanto, poderia ser mais aplicada ao desenvolvimento de habilidades de comunicação e atuação profissional na indústria química, promovendo-se debates com profissionais práticos, por exemplo, incentivando a participação dos alunos na resolução de problemas recorrentes na indústria.

O conteúdo abordado em sala de aula não seguiu nenhuma ordem pré-definida por determinada literatura de referência, visto que tal padronização na abordagem poderia acarretar em empobrecimento do conteúdo didático. Ao contrário, porém, optou-se por utilizar diversas literaturas específicas e gerais, empregadas conforme a necessidade de cada tema a ser abordado. Desta forma, a bibliografia adotada abrange: Handbooks sobre conceitos fundamentais da engenharia química; livros sobre processos de transferência de calor; livros e guias para *design* de plantas industriais e para dimensionamento de equipamentos;

Para facilitar o entendimento dos alunos, a docente preparou 3 apostilas com conteúdo programático resumido e notas de aula, tendo-se como base a bibliografia adotada. As apostilas, indicadas como leitura obrigatória pelos alunos, subdividiram o conteúdo do curso em 4 tópicos, sendo estes: 1. Trocadores de Calor recuperativos de processo; 2. Evaporadores, 3. Psicrometria e

Secagem de sólidos. A abordagem dos assuntos (principalmente quanto à substituição e adição de métodos/modelos químicos mais recorrentes) foi atualizada durante os cursos.

4. AVALIAÇÕES DOS ALUNOS

O critério de avaliação dos alunos também é forma essencial de medir a evolução dos mesmos. A avaliação de OP II se baseia em três provas: P₀, P₁ e P₂, e em um projeto final. Todo o conteúdo de teoria vista em sala de aula é cobrado nas provas P₀, P₁ e P₂, sendo a data de cada uma delas anunciadas no primeiro dia de aula. A matéria não é acumulativa e o conteúdo previsto para cada prova não é pré-definido no plano, a fim de que a matéria seja passada aos alunos conforme a velocidade de aprendizado de cada turma.

No projeto proposto, os alunos deveriam executar o dimensionamento de diferentes equipamentos de troca de calor propostos (escolhidos por sorteio), assim como o relatório do projeto em grupos valendo 5 pontos. A apresentação do projeto (valendo os 5 pontos restantes) é feita por um aluno do grupo que é sorteado na hora da apresentação. Caso o aluno sorteado não esteja presente no momento da apresentação lhe é conferido nota zero e, imediatamente há um novo sorteio entre os alunos restantes. Isto poderá ser repetido no caso de mais de 1 aluno do grupo estar ausente. Tal método de projeto proposto partiu como uma solução pensada e implementada para intensificar o envolvimento de todos os alunos, de fato, no projeto.

5. AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA, DOS ALUNOS E DO PROFESSOR.

Os alunos responderam a questionários avaliando a dedicação e desempenho do professor e de si mesmos na matéria OP II. Os resultados encontram-se dispostos na forma de respostas (percentual contabilizado) referentes aos seguintes questionamentos:

A figura 1 refere-se às questões: (A) Qual a contribuição da frequência às aulas para seu aprendizado? e (B): Didaticamente, como é o professor? (este explica com clareza, possui lousa organizada, acompanha o ritmo dos alunos?)

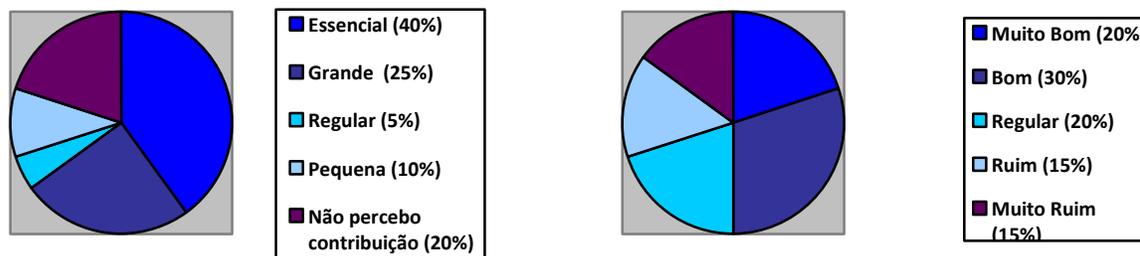


Figura 1 - (A): Contribuição da frequência às aulas no aprendizado e (B): Didática do professor

A presença na aula foi considerada como sendo muito importante para o desenrolar do ensino. As aulas tinham presença constante dos alunos, uma vez que a professora realizava chamada oral na lista de presença. A docente em questão mostrou-se bastante aberta a tirar as dúvidas dos alunos e

extremamente assecível, quando sua ajuda era requisitada nos trabalhos práticos e resolução de exercícios. Os alunos também se mostraram bastante satisfeitos com a paciência da professora em recebê-los para tirar dúvidas referentes ao projeto proposto. Quanto à didática nas aulas, os alunos relataram que a professora seguiu as apostilas e manteve um bom ritmo de aula, administrando o conteúdo didático com bastante organização na divisão das apostilas elaboradas.

A figura 2, interroga em (A): Como o aluno considera o material didático recomendado? (apostilas, livros, notas do professor?) e em (B): Como foi a coerência entre o que foi ensinado?

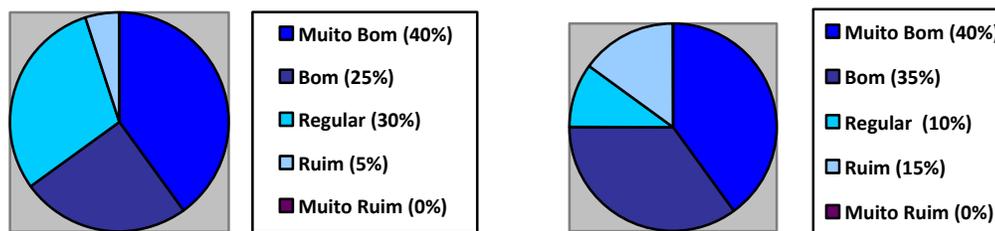


Figura 2 – Avaliação do material didático e (B): Coerência entre o que foi ensinado

O material didático, composto por 3 apostilas de notas de aula redigidas pela própria docente, foi considerado muito bom, visto que o mesmo foi devidamente atualizado e revisto por uma série de alunos (pertencentes às turmas anteriores). A apostila de troca de calor foi excepcionalmente elogiada, visto que continha praticamente toda a bibliografia necessária para a elaboração do projeto proposto. O que os alunos apontaram como forma de melhorar o material, contudo, foi a inserção do gabarito dos exercícios nele contido e correção de erros pontuais. Já a coerência entre o que foi apresentado em aula e o que foi cobrado apresentou-se muito bem avaliada; as provas continham conteúdo bastante bem relacionado com a matéria dada em aula, sendo o uso da apostila permitido quando quando fosse necessário consulta. Também houve menção de a correção das provas ser muito rigorosa, apesar de o conteúdo da mesmas estar de acordo com o que foi passado.

Na figura 3, o questionamento em (A) é: Independentemente do seu desempenho acadêmico (notas) como está sendo seu aprendizado? E em (B) é: Na opinião do aluno, quanto essa disciplina se faz útil para formação acadêmica/profissional?

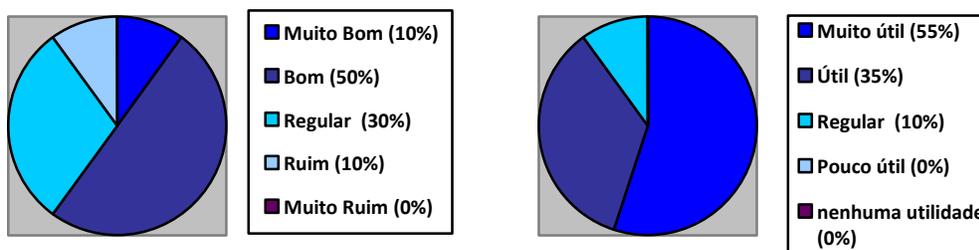


Figura 3- Avaliação do aprendizado do aluno e (B): Utilidade da disciplina

O aprendizado dos alunos foi considerado muito satisfatório, sendo que, a turma apresentou bom rendimento e poucas reprovações e recuperações. A disciplina foi classificada como “útil” ou “muito útil” por 90% dos alunos, sendo que o projeto (de trocador de calor casco e tubos) foi apontado pelos alunos como o projeto que mais se aproximou da realidade de um engenheiro químico, até aquele momento da graduação. O projeto de trocador de calor foi considerado como um desafio por muitos alunos, mas a grande maioria reconheceu que ele foi muito útil para “botar a mão na massa” e sentir a dificuldade de se realizar um projeto muito próximo à realidade. Houve vários elogios ao projeto, apesar da dificuldade agregada ao mesmo,

Finalmente, na Na figura 4, é inquerido em (A): Como você considera a contribuição de aulas que não são de teoria (exercício/ trabalhos) ? e em (B): Quanto tempo o aluno tem dedicado para estudar fora da sala de aula? (estudo para provas, elaboração de trabalhos e listas de exercícios?)

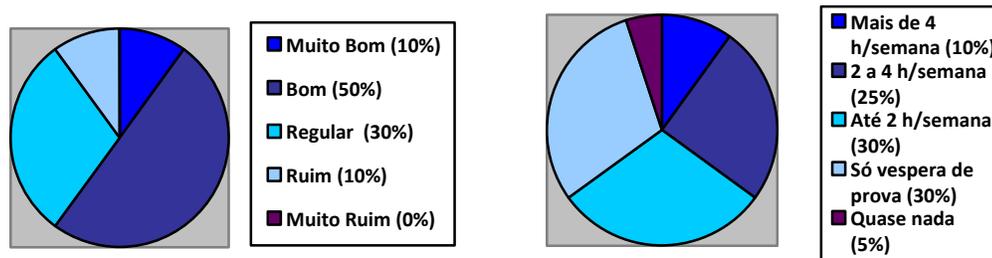


Figura 4- (A) contribuição das aulas práticas e (B): Tempo dedicado ao estudo (aluno).

Os alunos, no geral, reconheceram que as aulas reservadas para exercícios (principalmente quando os mesmos eram resolvidos passo a passo pela professora) foram bastante úteis para um bom aprendizado. Já a avaliação alunos em relação ao tempo dedicado para estudo fora de sala de aula foi bastante influenciado pela estrutura adotada do método cooperativo, sendo o 3º ano composto por dois módulos acadêmicos seguidos de um posterior módulo de estágio. Como o intervalo entre os dois módulos acadêmicos é de apenas 10 dias e as matérias do segundo módulo apresentam conteúdo bastante denso, grande parte dos alunos alegou cansaço já na primeira semana de aulas, ou seja, o tempo para descanso foi insuficiente, podendo-se sugerir uma ampliação desse intervalo ou uma reorganização dos módulos acadêmicos, sendo estes intercalados por um módulo de estágio.

Como as disciplinas do 3º ano apresentaram uma quantidade elevada de trabalhos e relatórios, a iniciativa do professor de OPII em anunciar as datas de provas e trabalhos no primeiro dia de aula permitiu melhor organização da agenda dos alunos e uma melhor divisão de tempo de estudo dos mesmos. Para um melhor aproveitamento do tempo dos alunos seria interessante que outros professores fizessem o mesmo ou que houvesse um professor responsável pela comunicação entre alunos e docentes para não haver sobreposição de datas de provas ou de entrega de trabalhos.

6. CONCLUSÃO



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

No presente projeto, foram analisadas criticamente as experiências de montagem e oferecimento da disciplina Operações Unitárias II (OP II) da Engenharia Química da Escola Politécnica da USP, tendo-se como referência documentos e relatos da livre docente que ministra a matéria em questão além de um questionário respondido pelos alunos. Analisaram-se as estratégias e ferramentas adotadas relacionando-as com a avaliação dos alunos quanto à aprendizagem e ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de habilidades e competência dos mesmos.

Em sala de aula, além das aulas expositivas de conceitos básicos, priorizou-se apresentação de casos reais recorrentes indústria química e a discussão e proposição de solução dos problemas expostos. Em atividades práticas, como a resolução de exercícios e a elaboração de projetos e seminários, visou-se a habilitação dos alunos na visão sistêmica de processos químicos e no desenvolvimento e identificação e resolução de problemas. Desta forma, conduziu-se à capacitação dos alunos em planejamento de projetos e à aplicação de conhecimentos científicos e tecnológicos na engenharia. O curso de OPII avaliado, portanto, mostrou-se bastante focado no conhecimento técnico da indústria química, sendo muito forte nesse aspecto, sem deixar de trabalhar no campo de habilidades voltadas para o desempenho prático e atuação profissional do aluno no mercado de trabalho. A metodologia adotada no curso foi, portanto, satisfatória para um aprendizado consistente dos alunos, sendo tal estrutura bem avaliada pelos mesmos sob diversos aspectos, como: material didático adotado, metodologia de ensino, aulas práticas, didática e coerência na avaliação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO: CÂMARA DE EDUCAÇÃO SUPERIOR. Resolução CNE/CES 11, de 11 de março de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União, Brasília, 9 de abril de 2002. Seção 1, p. 32

EP-USP : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Projeto Político-Pedagógico - Engenharia Química. São Paulo-SP, 2013. 33 pp.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. PORTARIA Nº 249, DE 2 DE JUNHO DE 2014. Institui as diretrizes curriculares Enade para o curso de Engenharia Química. Diário Oficial da União, Brasília, 4 de junho de 2014. Seção 1, p. 30.

ISENMANN, A. F. Operações Unitárias na Indústria Química. 2ª edição. Timóteo-MG: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Educação Profissionalizante em Química, 2013. 243 pp. Disponível em: <http://www.timoteo.cefetmg.br/site/sobre/cursos/quimica/repositorio/livros/ou/Operacoes_Unitarias_11_2014.pdf>. Acesso em 13/10/2015.

ROITMAN, V. Manual do Curso de Formação de Operadores de Refinaria: Operações Unitárias. Curitiba-PR: Petrobrás, 2012. 38pp. Disponível em:<http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/petrobras/operacoes_unitarias.pdf>. Acesso em 13/10/2015.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO

