

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Técnica da Fluorescência UV para Medição de Concentrações em Emulsões de Óleo/Água

AUTORES:

Érika Aparecida Carvalho, Edson Bortoni da Costa, Marcos Aurélio de Souza, Helga Gonzaga Martins

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Itajubá

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

TÉCNICA DA FLUORESCÊNCIA UV PARA MEDIÇÃO DE CONCENTRAÇÕES EM EMULSÕES DE ÓLEO/ÁGUA

Abstract

The simultaneous production of oil associated with gas, water and solid impurities occurs throughout the productive life of an oil reservoir. The economic interest is for the production of the hydrocarbons; therefore, it must be made use adequate process for the separation of these elements. It is made to guarantee the purity of the element with economic value, either for the correct conditioning of the elements to be discarded. The measurement of on-line concentration of emulsions is fundamental for the implementation of an efficient control system of the separation equipment's. There has been an increasing interest in continuous measurements. In this paper is presented the Fluorescence method, in which the molecules of oil components are excited in the UV and yield fluorescence light. Then, the goal of this paper is present the fluorescence.

Introdução

A produção de água é inerente ao processo de produção de petróleo e a sua quantidade aumenta gradativamente em volume de acordo com a maturação do campo. Esta água normalmente é descartada para o ambiente ou re-injetada no reservatório, em qualquer destes dois casos é necessário o rigoroso controle do teor de óleos e graxas presentes nesta água.

Além desse fato, grandes quantidades de emulsões O/W, efluentes oleosos, são gerados em refinarias de petróleo. Os maiores contribuintes para efluentes gerados são os desalinizadores, tanques de armazenamento de óleo cru e produtos refinados, tanques com vazamento, etc. As leis ambientais exigem que a concentração em todas as tubulações de esgoto seja menor de que certo limite (no Brasil, 29 ppm). Isto requer monitoramento preciso do conteúdo de hidrocarbonetos de efluentes. Em um estudo realizado por (PAL, 1994) é mostrado que o principal fator no controle de concentração de óleo em efluentes de refinarias e indústrias petroquímicas é a otimização da instrumentação empregada para monitorar a concentração de óleo em emulsões. Eles recomendam que sondas de monitoramento de emulsões sejam instaladas em diversos estágios do processo de controle.

Deve ser mencionado que o problema de efluentes oleosos não é restrito às refinarias de petróleo. As emulsões O/W são também encontradas em linhas de efluentes de muitas outras fontes, tais como laminações, processos químicos e indústrias de manufatura, navios, lavadores e hangares, etc. Novamente, a legislação ambiental exige o monitoramento de descargas de óleo. Diante desses desafios levantados, constata-se a necessidade de um sistema de monitoramento capaz de fornecer, de forma confiável, as concentrações de óleo em água.

É comum na indústria do petróleo utilizar equipamentos que aplicam as chamadas técnicas não destrutivas de medição, ou seja, técnicas de medição em que não há a degradação da amostra e podem ser realizadas na própria linha de produção, ou seja, um monitoramento contínuo. De acordo com (FROST & HUBER, 1995) técnicas de diferentes princípios têm sido introduzidas e testadas para a medição de concentração em linha das emulsões. Entre elas, absorção Ultra-violeta, dispersão de luz infra-vermelha e a Fluorescência Ultra-violeta são as mais comumente utilizadas. Entretanto, a técnica da fluorescência é um dos métodos mais seletivos. Além disso, ainda existe uma lacuna de conhecimento e tecnologia que permita a aplicação deste sistema de medição de forma confiável. Este artigo apresenta uma revisão dos fundamentos do método de fluorescência.

Características da Fluorescência

Algumas substâncias têm a propriedade de emitir energia luminosa quando sujeitas às radiações eletromagnéticas. A emissão de luz por qualquer substância é denominada luminescência, um fenômeno físico relacionado à emissão de fótons no processo de desexcitação de átomos ou moléculas que compõem um dado material (LAKOWICZ, 2006). A fluorescência é uma categoria da luminescência e foi descoberta em meados do século XIX pelo cientista britânico Sir George G. Stokes, que observou a emissão de luz do mineral chamado “fluorita” quando este foi exposto à luz ultravioleta (LAKOWICZ, 2006).

Ao aplicar um estímulo sob a forma de energia eletromagnética a determinados tipos de material a radiação interage com as moléculas presentes na amostra e produz emissão por fluorescência em uma região espectral característica de cada componente da amostra e de magnitude proporcional a sua concentração (HOLLER et al., 2009). A radiação eletromagnética ao ser emitida ou absorvida ocorre a transferência permanente de energia entre o objeto emissor e o meio absorvente, portanto, a radiação eletromagnética não pode ser tratada como uma sequência de ondas. Essa energia radiante está quantizada em pacotes concentrados denominados de fótons (HOLLER et al., 2009, EISBERG E RESNICK, 1979).

Os cromóforos são grupos funcionais responsáveis pela cor do material, quando absorvem radiação eletromagnética eles podem emitir fótons sendo denominados de fluoróforos. Nem todos os cromóforos necessariamente vão fluorescer e nesse caso a energia absorvida é dissipada no ambiente em forma de energia térmica e energia de colisão entre as moléculas vizinhas. Cada fluoróforo além de possuir sua própria fluorescência, possui propriedades intrínsecas que podem ser modificadas de acordo com o ambiente (ALBANI, 2007).

Os fluoróforos quando são expostos a uma fonte de energia eletromagnética são capazes de absorver a energia de um dado comprimento de onda e emitir em um comprimento de onda maior, entretanto, com menor energia (HOLLER et al., 2009). Os fluoróforos geralmente emitem luz na faixa de comprimento de onda do espectro visível, ou seja, entre o infravermelho e o ultravioleta, portanto, há sempre uma mudança ao longo do espectro entre a cor da luz absorvida e a cor da luz emitida. Os fluoróforos podem ser divididos em duas grandes classes: intrínsecos são aqueles pertencentes à amostra e emitem luz naturalmente e os extrínsecos que são adicionados à amostra (LAKOWICZ, 2006). A quinina, presente na água tônica, fluoresceína, rodamina e o cintilador conhecido como POPOP ((1,4-bis(5-fenil-2-oxazolil)benzeno) são exemplos típicos de fluoróforos.

O fenômeno da fluorescência ocorre com mais intensidade a partir de compostos que contêm grupos aromáticos. Grande parte dos hidrocarbonetos fluorescem em solução e a eficiência quântica que varia de zero, para as espécies que não fluorescem a um, para a espécie altamente fluorescente, aumenta proporcionalmente à quantidade de anéis aromáticos (HOLLER et al., 2009; LAKOWICZ, 2006). Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, como o antraceno e perileno, também são fluorescentes e as emissões dessas espécies são usadas no monitoramento ambiental de poluição por hidrocarbonetos (LAKOWICZ, 2006).

A fluorescência é caracterizada por parâmetros como a intensidade, rendimento quântico ou eficiência quântica e o tempo de vida (ALBANI, 2007). O rendimento quântico de fluorescência é a relação do número de moléculas que luminescem pelo número total de moléculas excitadas. Para uma molécula, o rendimento quântico é obtido pela comparação da sua intensidade com o de uma molécula de referência cujo rendimento é conhecido (ALBANI, 2007). O rendimento quântico da molécula de referência é conhecido a partir da medição das densidades ópticas no comprimento de onda de excitação. Para cada comprimento é calculado a soma das intensidades de fluorescência ao longo dos

seus espectros de emissão. Assim, a intensidade de fluorescência é proporcional ao rendimento quântico, ou seja, uma alta intensidade de fluorescência é resultado de um maior rendimento quântico e como o rendimento quântico é medido pelo comprimento de onda a intensidade de fluorescência também depende do comprimento de onda (ALBANI, 2007 e HOLLER et al., 2009).

Alguns mecanismos podem afetar o rendimento quântico e a máxima emissão do fluoróforo, são fatores ambientais como a temperatura, relacionados à adição de solventes, viscosidade e pH. O efeito geral das interações solvente - fluoróforo pode ocorrer no estado fundamental, onde se espera alguma mudança no espectro de absorção, ou ocorrer somente no estado animado e então o aditivo não afetaria o espectro de absorção. Estes fatores podem acontecer simultaneamente provocando efeitos complexos e tornando-se difícil a determinação de qual efeito é dominante no sistema. A vantagem desses efeitos múltiplos é a possibilidade de sondar o ambiente em torno do fluoróforo (LAKOWICZ, 2006 e HOLLER et al., 2009).

A fluorescência ocorre em três estágios, o primeiro acontece quando uma fonte de luz ultravioleta incide na amostra, o elétron absorve e atinge altos níveis de energia chegando ao estado excitado. Quando uma população de moléculas absorve luz (fótons) induz a passagem do estado eletrônico fundamental, que possui menor energia e nível eletrônico, S_0 , para o estado eletrônico animado, estado de mais alta energia, denominado estado animado S_n ($n > 1$). Por meio de etapas sucessivas a molécula que está no estado excitado retorna ao seu estado fundamental. Primeiramente, através do processo chamado conversão interna, no qual a molécula que está no estado excitado, S_n , retorna para o menor estado, S_1 , dissipando uma parte da sua energia no ambiente circundante. Para chegar ao estado fundamental, S_0 , a molécula que está no estado animado, S_1 , tem que sofrer diversos processos competitivos, como a emissão de um fóton (fluorescência) com a taxa de radiação constante, esse fenômeno é muito rápido, ocorre em uma faixa entre 10^{-9} s a 10^{-12} s, sendo denominado de fluorescência (ALBANI, 2007 e HOLLER et al., 2009). Outra parte da energia pode ser liberada para o meio em forma de calor ou para as moléculas vizinhas por colisão (HOLLER et al., 2009).

O processo de fluorescência é cíclico e o fluoróforo pode ser detectado repetidamente a menos que seja destruído ou ocorra o fenômeno conhecido como fotodegradação, na qual ocorre uma mudança na sua estrutura durante o estado animado e ele não possa mais fluorescer. O fluoróforo pode gerar vários fótons o que contribui para a alta sensibilidade das técnicas de detecção por fluorescência (LAKOWICZ, 2006 e HOLLER et al., 2009). Os resultados da análise de fluorescência são geralmente apresentados como espectro de emissão na forma de gráfico de curva de intensidade relativa (fluorescência) pelo comprimento de onda. Os gráficos representam vários picos de energia referente às emissões de fótons durante as transições eletrônicas. A estrutura química dos fluoróforos altera significativamente o comportamento do espectro de emissão. Os espectros de emissão são independentes do comprimento de onda de excitação (LAKOWICZ, 2006 e HOLLER et al., 2009).

A técnica de fluorescência é largamente utilizada devido a sua alta sensibilidade, seu limite de detecção é de até três ordens de magnitude melhor do que os encontrados na espectrometria de absorção (HOLLER et al., 2009). As taxas de emissão de fluorescência são bastante rápidas normalmente 10^8 s^{-1} , de modo que o tempo de vida da fluorescência típico é próximo de 10 ns (10×10^{-9} s) (LAKOWICZ, 2006).

Tecnologias do Método de Fluorescência

A técnica de espectroscopia de fluorescência é também conhecida como espectrofluorimetria, ela quantifica em termos de fluorescência de uma amostra o resultado de um processo de emissão de luz de baixa energia. O método é fundamentado na excitação do meio que absorve uma parte da energia e emite luz com diferentes comprimentos de onda (VOGEL, 2002). A luz emitida é proporcional à

concentração de espécies químicas do meio analisado. A leitura do sinal é realizada através da utilização de transdutores que é convertida na informação desejada.

O espectrofluorímetro é o equipamento utilizado com a finalidade de determinar os chamados espectros eletrônicos de emissão. Ele pode ser dividido em duas categorias: espectrofluorímetro estacionário que opera em condições fotoestacionárias, ou seja, as espécies são excitadas de modo contínuo obtendo espectros eletrônicos de emissão e de excitação. E o espectrofluorímetro pulsado, que excita as espécies através de pulsos de radiação e obtém como resultado o tempo de decaimento do estado eletrônico excitado e os espectros resolvidos no tempo (ATVARS E MARTELLI, 2002). De maneira geral o espectrofluorímetro é composto basicamente por um conjunto de componentes.

Eles vão desde os mais simples composto com fonte de radiação de luz branca, com picos de intensidade variável ao longo do espectro, incluindo os mais sofisticados com fonte de radiação de laser. Entretanto, nos instrumentos comerciais é comum ter uma fonte mais versátil de emissão de luz de alta pressão como o Xenônio ou Mercúrio. A lâmpada de Xenônio permite uma emissão contínua de luz que compreende praticamente toda a região do espectro visível e ultravioleta, variando de 250 a 700 nm, com uma série de linhas finas que acontecem próximo de 450 nm e acima de 800 nm, oferecendo um maior número de comprimentos de onda possíveis para a excitação da amostra. É preciso cuidado devido ao seu brilho extremo não deve ser observada diretamente, pois pode provocar danos na retina e o ultravioleta pode danificar a córnea (LAKOWICZ, 2006). A outra lâmpada geralmente usada é a lâmpada de Mercúrio que oferece maior intensidade para os comprimentos de onda que emite, principalmente na região do ultravioleta (ATVARS E MARTELLI, 2002). Como na lâmpada de Mercúrio a intensidade é concentrada em linhas, geralmente, ela é melhor para a seleção dos comprimentos de onda de excitação que melhor se adequam ao fluoróforo e não vice-versa (LAKOWICZ, 2006). O critério para a escolha de uma ou outra lâmpada está na necessidade de se ter muitas linhas disponíveis, ou em caso de a absorção da amostra ser muito fraca, o que prevalece é a intensidade da linha (ATVARS E MARTELLI, 2002).

De acordo com o tipo de fonte utilizada é necessário selecionar o comprimento de onda suficiente para a excitação e da radiação fluorescente resultante, para isso utiliza-se monocromadores constituídos por lentes, espelhos, janelas e redes que permitem a chamada varredura de um espectro, ou seja, a variação contínua do comprimento de onda da radiação em uma ampla faixa permitindo que a luz de um determinado comprimento de onda atravessasse (HOLLER et al., 2009).

Quando o comportamento do monocromador não é ideal, utiliza filtros ópticos para compensar, além de obter a máxima sensibilidade do fluoróforo quando as suas propriedades são conhecidas. Existe uma grande variedade de filtros, anteriormente eles eram feitos de vidros coloridos e com o avanço da tecnologia foram sendo substituídos por finas películas (LAKOWICZ, 2006).

Os transdutores são utilizados para detectar a energia radiante e selecionar o comprimento de onda, isolando a emissão da fluorescência. Como os sinais de emissão de fluorescência são tipicamente de baixa intensidade, os transdutores precisam ser sensíveis, muitas vezes necessitam ser refrigerados para evitar a interferência do ruído de fundo térmico e melhorar a razão sinal/ruído. O fototransdutor detecta a radiação isolada pelo transdutor e converte essa informação em sinal elétrico permitindo a leitura por equipamentos adequados (HOLLER et al., 2009).

A fluorescência é um processo resultante de um mecanismo de decaimento energético de uma molécula, quando a radiação eletromagnética passa pela amostra uma parte da energia é absorvida pelo meio e a parte restante é transmitida, a molécula fluorescente emite luz com uma frequência menor que a do feixe incidente (FROST E HUBER, 1995). Qualquer molécula que absorva radiação tem o potencial de fluorescer.

De modo geral os espectrofluorímetros empregam uma ótica de duplo feixe, no qual a fonte de radiação é dividida em dois feixes, um feixe passa por um seletor de comprimento de onda de excitação, o monocromador, e seque em direção a amostra que emite fluorescência em todas as direções, é conveniente observar a fluorescência em ângulos retos em relação ao feixe de excitação, como mostrado na figura 1. Essa fluorescência é então isolada pelo seletor de comprimento de onda que emite essa radiação para um fototransdutor onde é convertido para um sinal elétrico possibilitando a medida. O segundo feixe passa por um atenuador de potência para ficar no valor próximo daquele da radiação de fluorescência antes de atingir o transdutor que vai converter em sinal elétrico. Essa informação elétrica é enviada a um sistema eletrônico que calcula a razão da intensidade de emissão de fluorescência para a intensidade do feixe de referência produzindo o espectro resultante ou valores para um único comprimento de onda (HOLLER et al., 2009).

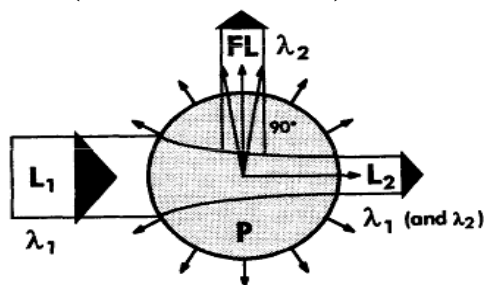


Figura 1: Princípio da fluorescência, o comprimento de onda da luz fluorescente, λ_2 , é maior que o comprimento de onda da luz incidente, λ_1 . A luz transmitida contém ambos comprimentos de onda (FROST E HUBER, 1995).

A espectrofluorimetria pode resultar em baixos intervalos de detecção, alta sensibilidade e alta especificidade. A alta especificidade é em grande parte devido ao fato de que os fluoróforos apresentam excitação (absorção) e emissão (fluorescência) com específicos comprimentos de onda. Cada substância tem um espectro característico, como se fosse uma impressão digital, assim é possível identificar um material desconhecido a partir da comparação da sua curva de absorção com curvas de substâncias conhecidas. Uma vez conhecido o espectro de absorção de uma dada substância, pode-se também determinar em que quantidade essa substância se apresenta em uma solução analisada.

O uso da tecnologia de fluorescência é cada vez mais difundida devido a uma série de importantes características do sistema como: (1) a alta sensibilidade e seletividade para hidrocarbonetos aromáticos, (2) ampla faixa de medição e (3) baixa sensibilidade para variações no ambiente físico e químico (SKEIDSVOLL, 2007). Os espectrofluorímetros permitem a produção de um espectro de excitação ou de emissão de fluorescência, a seletividade permite aos espectrofluorímetros uma importante caracterização eletrônica e estrutural das moléculas além de ser essencial nos trabalhos qualitativos e quantitativos (HOLLER et al., 2009).

Benefícios e Desafios

O método da fluorescência é bastante atrativo devido a sua seletividade, ou seja, permite selecionar o comprimento de onda específico, uma vez que nem todas as espécies fluorescem. As espécies que fluorescem têm comprimentos de onda bem definidos. Os limites de detecção são bastante sensíveis e melhores do que os encontrados pelo tipo de espectrometria de absorção (HOLLER et al., 2009 E FROST E HUBER, 1995). A fluorescência de detecção é uma área bastante promissora, o desenvolvimento de pesquisas é principalmente influenciado pelo desejo de se eliminar o uso de marcadores radioativos que possuem um alto custo, são problemáticos para o descarte, além da necessidade de métodos rápidos e eficientes para as áreas de clínica, bioprocessos e aplicações ambientais (LAKOWICZ, 2006).

A grande quantidade de água produzida como parte da extração de petróleo deve ser processada de forma eficiente para que a concentração de componentes, potencialmente nocivos, seja reduzida a

níveis conhecidos ou considerados inofensivos para o ambiente, quando descartada. Portanto, medir de forma confiável a concentração de óleo em água é cada vez mais essencial para a indústria do petróleo, além da crescente necessidade de aumentar o percentual de óleo recuperado a partir de tratamentos de água. Há um interesse crescente em medições contínuas, a técnica de fluorescência é bastante promissora, pois trata de uma técnica de medição direta na linha, sendo bastante apropriada para a realidade do ambiente de produção (BROWN, IDE E WOLFE, 2009).

Método de Fluorescência no Monitoramento da Concentração

Durante a elevação do petróleo para a unidade de produção e armazenamento há a formação de emulsões (THOMAS, 2001). Para a indústria petroquímica quantificar e separar cada um dos elementos dessas emulsões torna-se um grande desafio. A quantificação é fundamental para a implementação de um sistema de controle mais eficaz dos equipamentos de separação, garantindo assim uma maior eficiência dos mesmos e promovendo a separação e o correto destino de cada componente.

Sabendo que a produção de água na atividade de exploração aumenta gradativamente em volume, de acordo com a maturação do campo, é importante dispor de mecanismos capazes de quantificar a composição dessa água. Uma vez que há uma rigorosa legislação vigente que impõe limites de teores de óleo e graxas, de acordo com o destino que será dado a essa água (BRADLEY, 1999). As exigências ambientais no Brasil são explicitadas principalmente pelas resoluções 357/2005 e 393/2007 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), sendo a primeira para o descarte em corpos receptores, o limite de óleos e graxas na água produzida é de até 20 mg/dm³. A segunda é especificamente, para descarte em plataformas offshore, que estabelece a média aritmética simples mensal do teor de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L. Para reinjeção em poços de petróleo a água deverá ter no máximo 5 mg/dm³ de óleos e graxas. Para atender as especificações apresentadas é preciso um monitoramento constante, e de preferência online, dos teores de óleo e graxa presentes na água de produção.

Atualmente existe uma variedade de opções em equipamentos disponíveis para atender a indústria do petróleo, são equipamentos capazes de medir a concentração utilizando as mais variadas técnicas. Entretanto, há um crescente interesse pela medição em fluxo contínuo. As vantagens da medição direta na linha de fluxo é que não ocorre perda da amostra e em caso de manutenção do equipamento não há a necessidade de interromper o fluxo de produção (PAL, 1994).

Dentre as técnicas, aquelas que envolvem conceitos ópticos como a fluorescência, têm vantagens sobre ambos os métodos químicos e físicos em termos de precisão e compatibilidade on-line. Devido à sua alta sensibilidade, as moléculas existentes na amostra permitem medições de concentração muito precisas, mesmo para concentrações muito baixas (HOLLER et al., 2009). A técnica de absorção de ultravioleta (UV) pode ser usada para determinar a quantidade total de carbono orgânico (TOC) e, portanto o conteúdo de petróleo presente em efluentes oleosos em soluções diluída de O/W, PAL(1994).

É essencial um estudo de forma mais aprofundada da técnica de espectroscopia por fluorescência UV com o objetivo de levantar os princípios físicos envolvidos, características da técnica e do equipamento de medição a robustez e os fatores que podem interferir na medição. A finalidade é a obtenção dos dados qualitativos e quantitativos, do mesmo e o comportamento do mensurando de acordo com a variação das condições, a melhor maneira de reduzir os erros e obter medidas mais confiáveis. O objetivo final é apresentar uma metodologia que permita a medição “on-line” da concentração de emulsão de óleo em água baseada na técnica de espectroscopia por fluorescência UV e avaliar as incertezas de medição inerentes à técnica

Conclusões

Este artigo apresenta a uma revisão dos fundamentos do método da fluorescência. O foco de aplicação do método será no monitoramento de concentração de óleo em água de produção na extração do petróleo. O mercado atual conta com uma significativa variedade de equipamentos disponíveis que utiliza a técnica de fluorescência. Entretanto, ainda existe uma lacuna de conhecimento e tecnologia que permita a aplicação deste sistema de medição de forma confiável. Como trabalho adicional e imediato é desenvolver uma metodologia que permita a medição “on-line” da concentração de emulsão de óleo em água baseada na técnica de espectroscopia por fluorescência UV.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e do Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT.

Referências Bibliográficas

- ALBANI, J. R. Principles and applications of fluorescence spectroscopy, 1th edition. Blackwell Science Ltda. 2007.
- ATVARS, T. D. Z.; MARTELLI C. Espectroscopia eletrônica de emissão, Unicamp, 2002.
- BALL, DAVID W. Field guide to spectroscopy, SPIE Field Guides, The international Society for Optical Engineering, Washington, 2006.
- BRADLEY, H.B. Petroleum Engineering Handbook. SPE, Texas- USA, 1992
- BROWN, L.; IDE, M. AND WOLFE, P. Fluid Imaging Technologies, Inc, Measuring Oil in Water: A Sanity Check, 2009, Offshore Technology Conference.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. Física Quântica, Edit. Elsevier, Rio de Janeiro, 1979.
- FROST, M., HUBER, E.E., SIGRIST PHOTOMETER AG, Continuous Oil in Water Measurement, 1995, Society of Petroleum Engineers, Inc.
- HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A. AND CROUCH, S. R. Princípio de Análise Instrumental, 6ª Edição, Bookman Editora S. A., São Paulo, 2009.
- JAMIESON, A.W. The need for an in-line oil-in-water monitor, Shell UK Exploration and Production, Aberdeen.
- Disponível em: <www.iceweb.com.au/Analyzer/oil-in-water.htm> Acesso em: 15/04/2011.
- JINGHAI, W. L. Y., Measurement of micro oil in water by using ultraviolet fluorescence spectrum technology, The eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments, 2007, p. 356-358.
- KOKAL, S. L. ARAMCO, S. Crude Oil Emulsions, Petroleum Engineering Handbook, 2006 – Disponível em: <www.balikipapan.spe.org/images/balikipapan/articles/51/Crude%20Oil%20Emulsions%20-%20PEH%20-Chapter%2012%20-%20compressed%20version.pdf> Acesso em: 28/03/2011.
- LAKOWICZ, J. R., Principles of Fluorescence Spectroscopy, 3th edition, Kluwer Academic, New York, 2006.
- PAL, R., Techniques for measuring the composition (Oil and water content) of emulsion- a state of the art review, Physicochemical and Engineering Aspects. Colloids and Surfaces, no. 84, p. 132-247. 1994.
- SKEIDSVOLL, J.; OTTØY, M. H.; VASSGÅRD, E.G.; OA, J. A., Efficient Produced Water Management through Online Oil-in-Water Monitoring. Case Study: StatoilHydro's Snorre B; Produced Water – Best Management Practices. Disponível em: <www.oilinwater.com/bilder/filer/Efficient_Produced_Water_Management_through_Online_Oil_in_Water_Monitoring.pdf> Acesso em: 21/04/2011.
- THOMAS, J. E. Fundamentos de engenharia de petróleo, 2ª Ed., Editora Interciência Ltda. Rio de Janeiro, 2001.
- VOGEL, A. I., Análise Química Quantitativa, 6ª Edição, LTC-Editora, Rio de Janeiro-RJ, 2002.