



Luiz da Silva Góes Filho

**ESTUDO DO EFEITO DE SOLVENTES NAS
PROPRIEDADES ESPECTROSCÓPICAS DO ANTIBIÓTICO
NORFLOXACINA: ABSORÇÃO, FLUORESCÊNCIA
ESTACIONÁRIA E RESOLVIDA NO TEMPO**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Doutor em Física pelo
Programa de Pós-Graduação em Física do
Departamento de Física da PUC-Rio.

Orientadora: Sônia Renaux Wanderley Louro

Rio de Janeiro

Dezembro de 2010



Luiz da Silva Góes Filho

**Estudo do efeito de solventes nas propriedades
espectroscópicas do antibiótico norfloxacin:
absorção, fluorescência estacionária e resolvida no tempo**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Física pelo Programa de Pós-Graduação em Física do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Sônia Renaux Wanderley Louro
Orientadora
Departamento de Física – PUC-Rio

Profa. Eliane Wajnberg
CBPF

Prof. Iouri Borissevitch
USP-Ribeirão Preto

Prof. Nicolás Adrián Rey
Departamento de Química – PUC-Rio

Prof. Marco Cremona
Departamento de Física – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 10 de dezembro de 2010

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e da orientadora.

Luiz da Silva Góes Filho

Graduou-se em Bacharelado em Ciências Náuticas especialidade Máquinas (2º oficial de máquinas) na EFOMM-RJ em 1987 e em Bacharelado em Física na UERJ em 1997 e completou o mestrado em Física da Matéria Condensada Experimental (Biofísica Molecular) na PUC-Rio em 2005.

Ficha Catalográfica

Góes Filho, Luiz da Silva

Estudo do efeito de solventes nas propriedades espectroscópicas do antibiótico norfloxacin: absorção, fluorescência estacionária e resolvida no tempo. / Luiz da Silva Góes Filho; orientadora: Sônia Renaux Wanderley Louro. – Rio de Janeiro PUC, Departamento de Física, 2010.

111 f. : il. ; 29,7 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física.

Inclui referências bibliográficas.

1. Física – Teses. 2. Biofísica. 3. Absorção. 4. Fluorescência. 5. Fluorquinolonas 6. Solventes. I. Louro, Sônia Renaux Wanderley. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Física. III. Título.

CDD: 530

À memória de meu pai, Luiz da Silva Góes.

À minha mãe, Marlene Ribeiro Góes.

A meu tio, Osvaldo Monteiro Ribeiro.

Agradecimentos

À minha mulher Rita, pela companhia e incentivo nas lutas diárias e contínuas, por todos esses anos.

Às minhas filhas: Gabriela, 19 anos, e Carolina, 17 anos, pelo extremo carinho e paciência para comigo e pela dualidade de serem minhas alunas e minhas professoras.

A todos os meus familiares e todos os meus amigos, pelo aprendizado dos mais variados conhecimentos, em todos esses anos de relacionamentos.

Aos professores e funcionários do Departamento de Física da PUC-Rio, pela elevação da ciência nacional, produzindo e ensinando ciência de qualidade.

Aos companheiros do Grupo de Biofísica Molecular: Elmer, Fabrício, Fernando, Paulina, Teobaldo e Luciene pela camaradagem, amizade e aprendizado nos nossos encontros.

Agradecimento especial

À Professora Sônia Renaux Wanderley Louro, exemplo de professora, exemplo de cientista e exemplo de formadora de cientistas.

“O Professor se liga à eternidade; ele nunca sabe onde cessa a sua influência.”

Henry Adams

Resumo

Góes Filho, Luiz da Silva; Louro, Sônia Renaux Wanderley. **Estudo do efeito de solventes nas propriedades espectroscópicas do antibiótico norfloxacin: absorção, fluorescência estacionária e resolvida no tempo.** Rio de Janeiro, 2010. 111p. Tese de Doutorado - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Norfloxacin (NOR) é um antibiótico e antitumoral sintético da classe das fluorquinolonas. A carga elétrica de seu íon molecular é determinada principalmente pelo estado de protonação de dois grupos funcionais: o grupo carboxílico no anel quinolônico e a amina do grupo piperazinil. O equilíbrio de espécies com diferentes estados de protonação influencia tanto as propriedades espectroscópicas quanto a atividade farmacológica da droga. NOR apresenta-se positivamente carregada em meio ácido, neutra ou zwitteriônica em meio neutro e negativamente carregada em meio básico. No presente trabalho, investigamos as propriedades espectroscópicas da norfloxacin, através de absorção ótica e de fluorescência estacionária e resolvida no tempo, em soluções aquosas de diferentes pH e em diferentes solventes orgânicos. Parâmetros fotofísicos como coeficiente de absorção molar, deslocamento de Stokes, rendimento quântico, e tempo de vida de fluorescência foram obtidos. O deslocamento de Stokes e a frequência de emissão foram analisados em 16 solventes, agrupados principalmente em solventes próticos e apróticos, levando em consideração efeitos gerais, como a polarizabilidade de orientação dos solventes, e efeitos específicos. Foi observado que, apesar de os espectros de absorção UV-visível não apresentarem diferenças substanciais na maioria dos solventes, o deslocamento de Stokes e, especialmente, o rendimento quântico de fluorescência são fortemente afetados pelo solvente. Foram construídos gráficos de Lippert, do desvio de Stokes ou da frequência de emissão como função da polarizabilidade de orientação do solvente. Mesmo introduzindo correção para transferências de carga fotoinduzidas, segundo a teoria de Weller, não foram obtidas boas correlações. Por outro lado, para a maioria dos solventes, encontrou-se correlação entre os desvios de Stokes e os valores do parâmetro $E_T(30)$ da escala empírica de polaridades elaborada por Reichardt e baseada no forte solvatocromismo da absorção do corante betaína 30. Decaimentos de fluorescência de NOR nos diferentes solventes foram obtidos por contagem de fótons e foram ajustados com

expressão para distribuição de tempos de vida em torno de um único tempo, ou de múltiplas exponenciais no caso de mais de um tempo de vida. Foram também estudadas absorção e fluorescência de NOR em misturas binárias de solventes: etanol-tampão e DMSO-tampão, com tampões de pH 4.2 e 7.5. As curvas obtidas para as modificações no rendimento quântico em função da proporção de tampão na mistura são características de efeitos específicos de solventes e apontam o equilíbrio de protonação-desprotonação dos grupos amina e carboxílico como tendo papel fundamental no rendimento quântico e no deslocamento de Stokes. Os resultados mostraram que, sendo a fluorescência de NOR particularmente sensível a pequenas quantidades de solventes orgânicos, especialmente em pH fisiológico, constitui um importante sensor espectroscópico para sondar interações do antibiótico com moléculas biologicamente relevantes.

Palavras-chaves

Biofísica; antibiótico; fluorquinolona; norfloxacin; efeito de solvente; espectroscopia; absorção; fluorescência.

Abstract

Góes Filho, Luiz da Silva; Louro, Sônia Renaux Wanderley (Advisor). **Solvent effects on spectroscopic properties of the antibiotic norfloxacin: UV-vis absorption, steady state and time-resolved fluorescence.** Rio de Janeiro, 2010. 111p. Doctoral thesis - Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Norfloxacin (NOR) is a synthetic antibiotic and antitumoral drug of the class of fluoroquinolones. The electric charge of this molecular ion is mainly determined by the protonation equilibrium of two functional groups: the carboxyl of the quinolone heterocycle, and the distal amine of the piperazinyl group. The equilibrium of species with different charge distributions influences both the spectroscopic properties and pharmacological activity of the drug: NOR is positively charged in acidic medium, neutral or zwitterionic in neutral medium, and negatively charged in basic medium. In the present work, we investigated the spectroscopic properties of norfloxacin using UV-vis optical absorption, and steady state and time-resolved fluorescence in different aqueous solutions and organic solvents. Photophysical parameters such as molar absorption coefficients, Stokes shifts, quantum yields, and fluorescence lifetimes were obtained. The Stokes shift and the emission frequency were analyzed in 16 solvents, mainly grouped as protic and aprotic solvents, taking into account general effects of the solvents, such as orientation polarizability, and specific effects. It was observed that, although the UV-vis absorption spectra do not present substantial difference in most solvents, the Stokes shift and specially the fluorescence quantum yield are strongly affected by the solvent. Lippert plots of the Stokes shift and the emission frequency versus solvent orientation polarizability were constructed. Even introducing a correction for photoinduced charge transfer, according to the Weller's theory, a good correlation was not found. On the other hand, a good correlation was found between the Stokes shift and the parameter $E_T(30)$, of the empirical scale developed by Reichardt and based on the strong solvatochromism of the betain 30 dye. Fluorescence decays in different solvents were obtained using time correlated single photon counting (TCSPC) and were fitted with the expression for lifetime distribution around a single lifetime, or using a multiexponential expression in the case of more than one lifetime. Optical absorption and fluorescence of NOR were also studied in binary mixtures of

solvents: ethanol-buffer and DMSO-buffer, with pH 4.2 and 7.5 buffers. The curves of the fluorescence intensity as a function of the proportion of buffer in the mixture are characteristic of specific solvent effects, and point out that the protonation-deprotonation equilibrium of the amine and carboxylic groups plays a fundamental role in determining the quantum yield and the Stokes shift. The results showed that the fluorescence of NOR is an important spectroscopic sensor to explore interactions with biologically relevant molecules, since it is particularly sensitive to small amounts of organic solvents, especially at physiological pH.

Keywords

Biophysics; antibiotic; fluoroquinolones; norfloxacin; solvent effects; spectroscopy; absorption; fluorescence.

Sumário

1 .	Introdução	18
1.1.	Objetivos	20
1.2.	Estrutura dos capítulos	20
2 .	Fluorquinolonas	21
2.1.	Os antibióticos sintéticos da classe das fluorquinolonas	21
2.2.	Equilíbrio de Ionização das Fluorquinolonas	26
2.3.	Norfloxacin	27
3 .	Espectroscopia de absorção e de fluorescência	30
3.1.	Absorção de luz UV-visível (transições eletrônicas em moléculas)	30
3.2.	Fluorescência (transições radiativas e não-radiativas entre estados eletrônicos)	35
3.2.1.	Medidas de fluorescência estacionária	38
3.2.2.	Fluorescência resolvida no tempo	41
4 .	Solventes	48
4.1.	Classificação de solventes, interações específicas soluto/solvente	48
4.1.1.	Algumas considerações sobre interações intermoleculares	50
4.2.	Solventes e seus efeitos em cromóforos e fluoróforos	53
4.2.1.	Efeitos gerais de solvente	54
4.2.2.	Outros mecanismos para deslocamentos espectrais	56
4.2.3.	Efeitos específicos de solvente	59
4.3.	Escalas empíricas de polaridade de solvente baseadas em desvios solvatocrômicos	62
4.3.1.	Abordagem com um único parâmetro	62
4.3.2.	Abordagem com múltiplos parâmetros	64
4.4.	Teoria dos desvios solvatocrômicos	65
4.5.	Transferência intramolecular de cargas fotoinduzidas (ICT) e rotação interna	68
4.6.	Inversão dos estados $n-\pi^*$ e $\pi-\pi^*$ induzida por polaridade	70
5 .	Materiais e Métodos	72

5.1. Materiais	72
5.2. Equipamentos	72
5.3. Métodos	74
6 . Resultados e Discussões	77
6.1. Absorção UV-visível da norfloxacin	77
6.2. Fluorescência da norfloxacin	80
6.3. Tempos de vida da norfloxacin	85
6.4. Relação do deslocamento de Stokes com a polarizabilidade de orientação dos solventes (Lippert-Mataga)	88
6.5. Relação do deslocamento de Stokes com escalas empíricas de solventes	91
6.5.1. Escala empírica E_T^N (30)	91
6.5.2. Escalas empíricas de Catalán e Kamlet-Taft	93
6.6. Fluorescência de Norfloxacin em solventes binários	93
6.6.1. Norfloxacin em misturas etanol-tampão	94
6.6.2. Norfloxacin em misturas DMSO-tampão	97
7 . Conclusão	105
Referências Bibliográficas	108

Lista de Figuras

Figura 1.1.	Estruturas moleculares do ácido nalidíxico (esquerda) e da norfloxacin (direita).	18
Figura 2.1.	Modelo de Llorento para interação de fluorquinolona com DNA e DNA girase (Mitscher, 2005).	24
Figura 2.2.	Relação entre a estrutura e as atividades biológicas das quinolonas.	26
Figura 2.3.	Esquema de protonação / desprotonação para fluorquinolonas (Mitscher, 2005).	26
Figura 3.1.	Níveis de energia de orbitais moleculares do formaldeído (HOMO: orbital molecular ocupado de mais alta energia; LUMO: orbital molecular desocupado de mais baixa energia) (Bernard Valeur, 2001).	31
Figura 3.2.	Distinção entre os estados singleto e tripleto, usando o formaldeído como exemplo (Valeur, 2005).	32
Figura 3.3.	Exemplos de moléculas com sistemas conjugados, à esquerda: 1,3-butadieno (linear); à direita: benzeno (cíclico) (Bernard Valeur, 2001).	33
Figura 3.4.	Esquema do espectrofotômetro HP-8452A. A luz da lâmpada passa através da amostra e solvente contidos em uma cubeta. Em seguida passa pela rede de difração, para seleção do comprimento de onda, e atinge o arranjo de diodos para a detecção (da Silva, Tese de mestrado, PUC-Rio).	34
Figura 3.5.	Diagrama de Jablonski (modificado de Lakowicz, 2006).	35
Figura 3.6.	Diagrama esquemático de um espectrofluorímetro com geometria perpendicular para excitação e emissão (modificado de Lakowicz, 2006).	39
Figura 3.7.	Princípios de fluorimetria resolvida no tempo (modificado de Valeur, 2005).	42
Figura 3.8.	Descrição esquemática de uma curva de decaimento de fluorescência utilizando o método por pulso (modificado de Lakowicz, 2006).	44
Figura 3.9.	Diagrama esquemático de um fluorímetro de contagem de fóton único (modificado de Valeur, 2005).	46
Figura 4.1.	Diagrama de Jablonski para fluorescência com relaxação de solventes (modificado de Lakowicz, 2006).	54

Figura 4.2.	Fotografia e espectros de emissão de DNS em solventes de polaridade crescente. H, hexano; CH, ciclohexano; T, tolueno; EA, acetato de etila; Bu, n-butanol (Lakowicz, 2006).	56
Figura 4.3.	Espectros de emissão do indol em ciclohexano, etanol e suas misturas a 20°C (modificado de Lakowicz, 2006).	57
Figura 4.4.	Efeitos do ambiente sobre a energia do estado excitado. As setas tracejadas indicam que o fluoróforo pode ser fluorescente ou não, nos diferentes estados (modificado de Lakowicz, 2006).	58
Figura 4.5.	Espectros de fluorescência de 2-acetilantraceno em mistura de metanol e hexano a 20°C. Concentrações de metanol em mol dm ⁻³ : (0) 0; (1) 0.03; (2) 0.05; (3) 0.075; (4) 0.12; (5) 0.2 e (6) 0.34 (modificado de Lakowicz, 2006).	60
Figura 4.6.	Efeito da composição do solvente sobre o máximo de emissão de 2-acetilantraceno. 1 kK = 1000 cm ⁻¹ (modificado de Lakowicz, 2006).	61
Figura 4.7.	Espectros de absorção de 2-acetilantraceno em hexano puro (0) e misturas de metanol e hexano. As concentrações de metanol em mol dm ⁻³ são 0.2 (1) e metanol puro (2). O espectro 3 (pontilhado) refere-se ao complexo ligado ao hidrogênio (Lakowicz, 2006).	62
Figura 4.8.	Moléculas utilizadas em escalas empíricas de solventes: (1) 4-metoxycarbonil-1-etilpiridinium iodide; (2) piridinium-N-fenóxido e (3) 2,6-difenil-4-(2,4,6-trifenil-1-piridino)-fenolato.	63
Figura 4.9.	Relaxação do solvente em torno de uma sonda que tem um momento de dipolo pequeno no estado fundamental e um momento de dipolo grande no estado excitado (Valeur, 2005).	68
Figura 4.10.	Diagrama de energia potencial de DMABN; a reação coordenada contém a relaxação do solvente e a rotação do grupo dimetilamino. Espectro de fluorescência à temperatura ambiente em hexano e tetrahydrofurano (adaptado de Lippert et al., 1987; em Valeur, 2005).	70
Figura 4.11.	Os efeitos da inversão dos estados n-π* e π-π* induzida por polaridade (Valeur, 2005).	71
Figura 5.1.	Fotografia do Sistema de Fluorescência QM-1 da PTI – Photon Technology International.	73
Figura 5.2.	Fotografia do Sistema de Fluorescência resolvida no tempo Horiba-Jobin Ivon-IBH. 1: Computador; 2: DataStation Hub (Controlador de NanoLEDs, monocromadores, polarizadores, lentes e detector de fótons TBX); 3: Fonte e controle para o detector MCP; 4: Fonte e controle para lâmpada de Xenônio ; 5: Fonte e controle para lâmpada NanoFlash.	73

- Figura 5.3. Fotografia do Sistema de Fluorescência resolvida no tempo Horiba-Jobin Ivon-IBH. 1: NanoLEDs (283nm; 330nm; 559nm), LASERs (372nm; 405nm; 430nm; 640nm); 2: Lâmpada de Xenônio; 3: Lâmpada NanoFlash de Hidrogênio; 4: Controle da abertura (slit) e monocromador de excitação; 5: Polarizador de excitação; 6: Câmara da amostra com opção de medidas em função da temperatura; 7: Polarizador de emissão; 8: Controle da abertura (slit) e monocromador da emissão; 9: Detector (Picosecond photon detection – TBX-04); 10: Detector MCP-PMT (Microchannel Plate Photomultiplier Tube). 74
- Figura 6.1. Espectros de absorção de norfloxacin 10µM nos solventes (A) Tampões pH 10.7; 7.5 e 4.2; (B) Metanol, etanol e n-octanol; (C) Acetonitrila, acetona, DMF e DMSO; (D) Diclorometano, THF e etilacetato; (E) Éter dietílico, hexano, tolueno e clorofórmio. 78
- Figura 6.2. Espectros de emissão de Norfloxacin 10 µM em diferentes solventes. Excitação em 330 nm; os espectros foram corrigidos para mesma absorvância em 330 nm. 82
- Figura 6.3. Decaimento da fluorescência de norfloxacin nos diversos solventes utilizados, conforme legenda em cada figura de A a F. 86
- Figura 6.4. Correlação de Lippert-Mataga de NOR: desvio de Stokes de NOR vs. polarizabilidade de orientação dos diferentes solventes. Os números referem-se aos solventes da tabela 6.1. 89
- Figura 6.5. Gráfico de Lippert-Mataga de NOR: frequência de emissão de NOR vs. polarizabilidade de orientação corrigida pela teoria de Weller dos diferentes solventes. Os números referem-se aos solventes da tabela 6.1. (●) solventes apróticos. (○) solventes próticos. 91
- Figura 6.6. Desvio de Stokes de NOR nos diferentes solventes vs. valores de $E_N^T(30)$ do solvente. Os números referem-se aos solventes da Tabela 6.1. 92
- Figura 6.7. Variação dos espectros de absorção de norfloxacin 10 µM em misturas de tampão e etanol. (A) tampão fosfato pH 7.4; (B) tampão citrato-fosfato pH 4.0. A porcentagem de etanol correspondente a cada espectro aparece na legenda. 94
- Figura 6.8. Variação dos espectros de fluorescência de norfloxacin 10µM em misturas de tampão e etanol. (A) tampão pH 7.4; (B) tampão pH 4.0. As inserções mostram as variações dos comprimentos de onda do pico de fluorescência com a porcentagem de etanol. 95
- Figura 6.9. Dependência da intensidade de fluorescência de norfloxacin (10 µM) em função do volume de tampão pH 4.0 (em 440 nm) e pH 7.4 (em 406 nm) nas misturas com etanol. 96

- Figura 6.10. Variação dos espectros de absorção de norfloxacin 10 μ M em misturas de solventes tampão / DMSO. (A) tampão fosfato pH 7.5; (B) citrato-fosfato pH 4.2. 98
- Figura 6.11. Variação dos espectros de fluorescência de norfloxacin 10 μ M em misturas de solventes tampão / DMSO. (A) fosfato pH 7.5; (B) citrato-fosfato pH 4.2. 99
- Figura 6.12. Intensidade de fluorescência de norfloxacin (10 μ M) em função do volume de tampão nas misturas com DMSO. Os símbolos cheios referem-se às amostras preparadas com antecedência e deixadas equilibrando até o dia seguinte. Os símbolos vazados referem-se às amostras medidas imediatamente após a mistura dos solventes. A intensidade de fluorescência foi tomada em 440 nm, para pH 4.2 ou 4.0 e em 407nm, para pH 7.5 ou 7.4. 100
- Figura 6.13. Comparação dos espectros de decaimento dos tempos de vida da fluorescência de norfloxacin 10 μ M em DMSO (0% de tampão pH 4.2) e de DMSO puro (sem norfloxacin) em 440nm. 101
- Figura 6.14. Decaimento dos tempos de vida da fluorescência de norfloxacin 10 μ M em função do volume do tampão pH 7.5 na titulação com DMSO. 102
- Figura 6.15. Decaimento da fluorescência de norfloxacin em misturas tampão pH 4.2 / DMSO, em diferentes proporções. Excitação em 330 nm, emissão em 440 nm. A inserção mostra variação dos tempos de vida, obtidos dos ajustes das curvas de decaimento, em função do percentual de tampão. 103

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Principais fluorquinolonas de cada geração com suas indicações clínicas.	25
Tabela 5.1 – Solventes utilizados no trabalho (estruturas retiradas da Wikipédia).	75
Tabela 6.1 – Propriedades características dos solventes: índice de refração (n), constante dielétrica (ϵ), polarizabilidade de orientação (Δf) e os valores de $E_T^N(30)$ (Reichardt, 2003; Lange, 1979).	77
Tabela 6.2 – Propriedades de absorção UV-vis de norfloxacin em diferentes solventes: comprimentos de onda de máxima absorção, λ , em nm; e seus respectivos coeficientes de absorção molar calculados, ϵ em ($10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) (Referentes à Figura 6.1).	80
Tabela 6.3 – Parâmetros de fluorescência de norfloxacin em diferentes solventes. Pico de absorção de menor energia, λ_3 ; pico de emissão, λ_{em} ; desvio de Stokes, $\Delta \nu$, calculado a partir de λ_3 e λ_{em} ; rendimento quântico de fluorescência, ϕ , calculado a partir da integral da curva de fluorescência (referente ao rendimento quântico de NOR, $\phi=0.12$ em pH 4.0, Bilsky et al., 1996).	83
Tabela 6.4 – Tempos de vida de NOR nos diferentes solventes.	87
Tabela 6.5 – Tempos de vida de NOR nos diferentes percentuais de mistura de solventes DMSO / tampão fosfato pH 7.5. 0 – 20%, distribuição de tempos de vida em torno de τ_1 ($\Delta t_m/t_m=0.4$); 30 – 100%, modelo de exponencial tripla com τ_0 fixo (0.1 ns) e τ_2 correspondente a impureza. Emissão em 407 nm, exceto para 90 e 100% DMSO (440 e 434 nm, respectivamente).	102
Tabela 6.6 – Tempos de vida de NOR obtidos dos ajustes do decaimento de fluorescência nos diferentes percentuais de mistura DMSO / Tampão pH 4.2. Emissão 440 nm. Ajustes biexponenciais, exceto para tampão puro, para o qual foi usada distribuição de tempos de vida com $\Delta \tau/\tau_m=0.3$.	103

Abreviações

IC	conversão interna (do inglês, internal conversion)
DMF	dimetilformamida
DMSO	dimetilsulfóxido
FQ	fluorquinolona
ICT	transferência interna de carga (do inglês, internal charge transfer)
LED	diodo emissor de luz (do inglês, light emitting diode)
mM	milimol por litro
μM	micromol por litro
NOR	norfloxacin (1-etil-6-fluor-4-oxo-7-piperazin-1-il-1 <i>H</i> -quinolino-3- ácido carboxílico)
THF	tetrahidrofurano
TICT	transferência interna de carga, com rotação (do inglês, twisted internal charge transfer)
UV	ultravioleta