



Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
Departamento de Química
Programa de Pós-Graduação em Química

**“Desenvolvimento de materiais nanoestruturados à base de
óxido de nióbio para aplicação em fotônica”**

Felipe Thomaz Aquino

Tese apresentada à Faculdade de
Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo, como parte das
exigências para a obtenção do título de Doutor em
Ciências, Área: **Química**

RIBEIRÃO PRETO - SP
2013



Universidade de São Paulo
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto
Departamento de Química
Programa de Pós-Graduação em Química

**“Desenvolvimento de materiais nanoestruturados à base de
óxido de nióbio para aplicação em fotônica”**

Felipe Thomaz Aquino

Orientadora: Rogéria Rocha Gonçalves

Tese apresentada à Faculdade de
Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo, como parte das
exigências para a obtenção do título de Doutor em
Ciências, Área: **Química**

RIBEIRÃO PRETO - SP
2013

Versão corrigida da Tese de Doutorado (Doutorado) apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química no dia 12/09/2013. A versão original encontra-se disponível na Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP

FICHA CATALOGRÁFICA

Aquino, Felipe Thomaz

Desenvolvimento de materiais nanoestruturados à base de óxido de nióbio para aplicação em fotônica. Ribeirão Preto, 2013.

207 p.: il.; 30cm

Tese de Doutorado, apresentada à Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão preto/USP – Área de concentração: Química Inorgânica.

Orientadora: Gonçalves, Rogéria Rocha.

1. Guias de onda.

2. Espectroscopia

3. Lantanídeos

DADOS CURRICULARES

FELIPE THOMAZ AQUINO

1. DADOS PESSOAIS

1.1. Data de Nascimento: 12/01/1978

1.2. Nacionalidade: Brasileira

1.3. Naturalidade: Araraquara, São Paulo.

1.4. Estado Civil: Casado

1.5. Filiação:

1.5.1. Pai: Joaquim Thomaz Aquino Júnior

1.5.2. Mãe: Maria Christina Pavão

1.6. Profissão: Químico

1.7. Documento de Identidade: 32.699.163-3

1.8. Cadastro de Pessoa Física: 267.960.598-59

2. FORMAÇÃO ACADÊMICA

2.1. Graduação

Bacharelado em Química Tecnológica, concluído em Janeiro de 2000 no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP.

2.2. Pós-graduação

Mestrado em Química, Área de concentração: Química Analítica, concluído em Março de 2003 no Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP.

2. PUBLICAÇÕES

• Aquino, Felipe Thomaz; Ferrari, Jefferson Luis; Ribeiro, Sidney José Lima; Ferrier, Alban; Goldner, Philippe; Gonçalves, Rogéria Rocha. “Broadband NIR emission in novel sol-gel Er³⁺-doped SiO₂-Nb₂O₅ glass ceramic planar waveguides for photonic applications”. **Optical Materials**, v.35, p.387-396, 2013.

3. PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS

1. **Escola “Ana M.G. Massabni” de espectroscopia de Lantanídeos**, 2013
2. **1st Advanced School on Materials for Photonic Applications - Glasses, Optical Fibers and Sol-Gel Materials (SAMPa)**, 2012. “Nanostructured Er³⁺/Yb³⁺ co-doped SiO₂-Nb₂O₅ planar and channel waveguides for photonics”.
3. **7^{ème} Rencontre Franco-Espagnole sur la Chimie et la Physique de l'Etat Solide**, 2012. “Micro and nanostructured sol-gel Er³⁺-doped SiO₂-Nb₂O₅ planar and channel waveguides for photonic applications”. Apresentação de Pôster pela orientadora
4. **The 3rd International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices**, 2012. “Nanostructured Er³⁺/Yb³⁺ co-doped SiO₂-Nb₂O₅ planar and channel waveguides for photonics”. Apresentação de Pôster pela orientadora
5. **XI Encontro da Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais**, 2012. “New Er³⁺/Yb³⁺ co-doped SiO₂-Nb₂O₅ planar waveguides for photonic applications”.
6. **São Carlos Advanced School on Materials Science & Engineering**, 2012. “SiO₂-Nb₂O₅ nanostructured materials for photonic applications: Optical and Spectroscopic Properties”
7. **18^o Encontro da SBQ-Regional Interior Paulista**, 2011. “Caracterização estrutural e morfológica de filmes a base de Nb₂O₅ dopados com íons lantanídeos”.
8. **The 16th International Sol-Gel Conference**, 2011 “Erbium-doped SiO₂-Nb₂O₅ glass ceramic planar waveguides: optical and spectroscopic properties”. Apresentação na forma oral pela orientadora
9. **34^a Reunião Anual Sociedade Brasileira de Química**, 2011. “Preparação e caracterização óptica de guias de onda de SiO₂-Nb₂O₅ dopados com íons Er³⁺”
10. **18^o Encontro da SBQ-Regional Interior Paulista**, 2011. “Propriedades estruturais de vitrocerâmicas a base de SiO₂-Nb₂O₅ dopadas com íons lantanídeos”.
11. **III Escola Avançada de Óptica e Fotônica - IFSC OSA Student Chapter**, 2010.
12. **4^a ESCUELA DE SÍNTESIS DE MATERIALES: PROCESOS SOL-GEL**, 2009. Desenvolvimento de Materiais Nanoestruturados a base de Óxido de Nióbio para aplicação em Fotônica.

“Com grandes poderes vêm grandes responsabilidades” – Ben Parker (Stan Lee)

“Dedico esse trabalho a minha mãe, Maria Christina que me possibilitou iniciar essa jornada e sempre me incentivou aos estudos, a minha esposa Lillian que esteve ao meu lado todo o tempo e é a mulher que eu escolhi e me escolheu para ter ao meu lado por toda vida e ao meu irmão Alexandre, “sangue do meu sangue” que está comigo no meu coração, mesmo à distância, sempre. Amo vocês!”

Agradecimentos

Em primeiro lugar, sem dúvidas no meu coração agradeço a Deus, Buda, Vishnu, Thor, Destino. Enfim a essa força que nos guia, que nos coloca em nosso caminho, possibilitando realizar o que temos de realizar nesse pedacinho do Universo chamado vida. E foi essa força que me trouxe até aqui. Obrigado!

Agradecimentos especiais ao Edevaldo (in memoriam) que foi muito importante na minha vida e continua no meu coração. Ao meu “primo Jorge” que também me possibilitou iniciar a formação acadêmica que tenho hoje. Ao meu tio Aldo que é e sempre foi uma pessoa muito importante na minha vida. E por último, mas não menos importante, a minha outra família que eu ganhei com minha esposa: Seu Osmar, Dona Filó, meus cunhados Mateus e Carol, tio Wilson, tia Bete e todos os que fizeram parte da minha vida nesses quatro anos, sempre apoiando e torcendo por mim.

A minha orientadora Rogéria, por ter me dado essa grande oportunidade, pela confiança, pelo apoio e pelos ensinamentos, sem mencionar a possibilidade de ter conhecido grandes pesquisadores, grandes mestres e grandes pessoas nessa jornada.

A Universidade de São Paulo e seus funcionários por quatro anos incríveis. A CAPES, CNPQ, FAPESP e INCT-INAMI pelo apoio financeiro. Ao professor Sidney e ao Laboratório de Materiais Fotônicos (LAMF), pela colaboração no trabalho e todas as medidas realizadas. Ao Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée de Paris da École Nationale Supérieure de Chimie de Paris (LCMCP-ENCP-Paristech), ao professor Lauro June Queiroz Maia, ao professor Elia Tfouni e ao professor Sérgio Carlos Zílio pelas medidas obtidas em seus laboratórios.

Ao professor Osvaldo Serra e aos meus grandes amigos e irmãos que tive a oportunidade de fazer nesses quatro anos na República RepHour, que eu espero que ainda tenha muitos anos pela frente. Jefferson, que merece um agradecimento especial não só pela amizade, mas por tudo o que me ensinou profissionalmente e por ter me possibilitado essa oportunidade. Aquele encontro ao acaso quatro anos atrás foi o que iniciou essa fase da minha vida. Obrigado meu velho! E aos outros grandes amigos: Erick, que sempre esteve lá me apoiando, conversando, assistindo seriados comigo; André, uma grande figura, um grande coração, “Frango”, você sempre estará nas minhas lembranças; Emerson, meu irmão, um grande cara, com quem tive e continuo tendo uma grande amizade e carinho. E aos novatos, Fabrício, meu irmão de alma nerd, que juntamente com seu irmão Bruno se tornaram grandes amigos em um curto espaço de tempo e ao Lucas, pelo seu exemplo de esforço e garra que levo comigo. Por fim, ao veterano “Fabão” que sempre esteve presente nesses 4 anos e sempre deixou grandes palavras e grandes lições para todos nós.

A Silvânia e a Karmel, as melhores amigas que um homem pode ter e que mostra que é possível sim a amizade entre um homem e uma mulher de forma pura e carinhosa. Obrigado pelo apoio, pelas palavras, pelas risadas, por tudo, tudo mesmo. Adoro vocês!

Aos amigos do laboratório: Rafa, por sempre poder contar com você. Ana Paula, que foi muito importante nesse trabalho. Obrigado pelas lições e pela amizade. E todos que já passaram ou ainda estão por lá: Dayane, Aninha, Camila (minha primeira IC!), Drielly, Diego, Macuna e aos novatos Wesley (que também se tornou um grande amigo em pouco tempo) e Luiz que vão continuar fazendo coisas muito legais no Materlumen!

Aos amigos do Bloco 5 e outros amigos que sempre estiveram presentes nessa fase da minha vida, com um conselho, uma risada, caronas, apoio, alegria e consolo: Priscila, Dani (sempre presente, outra grande amiga), Wellington, Serrana, DaMãe, Toddy, X, Tiago (Cavallini), PC, e as “meninas do Betão”: Ana Flávia, Anelize, Ana Paula e Tânia. Vocês sempre terão um lugar no meu coração! Obrigado!

Sumário

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUÇÃO	5
1.1. As telecomunicações e a amplificação óptica.....	6
1.2. O fenômeno de guiamento de luz	9
1.3. Lantanídeos ou terras raras	13
1.4. Matrizes dopadas com íons lantanídeos para amplificação óptica	23
1.5. Propriedades do óxido de nióbio (Nb_2O_5)	30
1.6. O processo sol-gel e técnica dip-coating	35
2. OBJETIVOS.....	39
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	41
3.1. Preparação dos materiais $(100-x)\text{SiO}_2-x\text{Nb}_2\text{O}_5$ dopados com íons lantanídeos	42
3.1.1. Preparação dos sóis $(100-x)\text{SiO}_2-x\text{Nb}_2\text{O}_5$	42
3.1.2. Preparação dos guias de onda e filmes $(100-x)\text{SiO}_2-x\text{Nb}_2\text{O}_5$ dopados com íons lantanídeos	43
3.1.3. Preparação dos nanocompósitos de $(100-x)\text{SiO}_2-x\text{Nb}_2\text{O}_5$ dopados com íons lantanídeos	43
3.2. Difração de raios X (DRX).....	44
3.3. Microscopia Eletrônica de Transmissão de Alta Resolução (MET-AR).....	44
3.4. Espectroscopia Raman	44
3.5. Espectroscopia vibracional na região do Infravermelho com Transformada de Fourier (IVTF)	45
3.6. Espectroscopia de Fotoluminescência	45
3.6.1. Espectroscopia de fotoluminescência na região do Infravermelho próximo	45
3.6.2. Espectroscopia de fotoluminescência dos nanocompósitos dopados com íons Eu^{3+}	46

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

