

**Título em Português:** Otimização da emissão de lasers aleatórios em resina polimérica através da microestruturação periódica

**Título em Inglês:** Optimization of random laser emission in polymeric resin through periodic microstructuring

**Autor:** Vitor Eduardo Kock de Sá

**Instituição:** Universidade de São Paulo

**Unidade:** Instituto de Física de São Carlos

**Orientador:** Leonardo De Boni

**Área de Pesquisa /**  
**SubÁrea:** Física da Matéria Condensada

**Agência Financiadora:** CNPq - PIBITI

## Otimização da emissão de lasers aleatórios em resina polimérica através da microestruturação

Vitor Eduardo Kock de Sá

Leonardo De Boni

IFSC/USP

vitordesa@usp.br

### Objetivos

Neste projeto é explorada a possibilidade de sintonizar a emissão de lasers aleatórios (LA) por meio de grades de difração. A presença de grades na superfície das amostras permite a geração de luz laser em um intervalo de comprimentos de ondas mais amplo que o normal e que podem ser acessados medindo a emissão com diferentes ângulos em relação ao dispositivo, possibilitando a sintonização do comprimento de onda com a rotação da amostra. Além da sintonização também é estudado o impacto das grades na eficiência de produção de luz e na largura espectral do laser gerado.

### Métodos e Procedimentos

As amostras são compostas de uma resina polimérica com o meio ativo e centros espalhadores dispersos em seu interior. O meio ativo escolhido é a rodamina 6G, um corante laser e as partículas espalhadoras são de TiO<sub>2</sub>. Na resina líquida, são adicionados e misturados o meio ativo e os centros espalhadores até ficarem homogêneos. A mistura é vertida sobre um substrato que molda a resina e cria as grades de difração e, então, é submetido à luz UV que polimeriza e solidifica o meio. Em seguida basta descolar a resina do substrato que a grade em sua superfície possuirá as propriedades do substrato.

As medidas são feitas com o sistema automatizado do laboratório. O laser de bombeio é um Nd:YAG pulsado a 20 Hz, com largura temporal de 5 ns e emissão em 532 nm, cujo feixe é focado com uma lente esférica no dispositivo LA, onde ocorrem os efeitos estudados. A emissão é coletada e enviada ao espectrômetro e o espectro é armazenado junto com a energia de bombeio e ângulo de rotação. Após a coleta, a rotação da amostra ou a energia de bombeio podem ser variadas. A análise dos dados consiste em produzir uma curva de ajuste para o pico do espectro para obter os seguintes parâmetros: máxima intensidade, comprimento de onda do pico e largura à meia altura (FWHM). Como o foco do projeto está no comportamento das amostras em função da rotação, foi montado um estágio rotatório como suporte das amostras. Isso permite a medida com precisão da rotação, e utilizar a direção normal como referencial para os ângulos.

### Resultados

Primeiro foi medida a dependência das amostras em relação à energia de bombeio. Foi observado um afinamento no espectro de emissão e uma mudança no coeficiente angular no comportamento da intensidade, indicando que ocorreu inversão de população e geração de laser nas três amostras. O limiar laser das amostras com grades é menor que a da amostra de controle, indicando uma influência positiva das estruturas na eficiência

do dispositivo. A largura espectral tendeu para 4,8 nm em todos os casos.

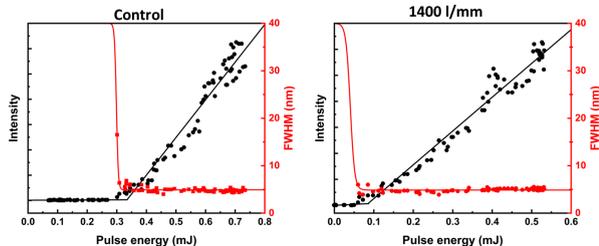


Figura 1: Dependência da emissão em função do bombeio

Em seguida foram medidas as direções de emissão, foi coletada a intensidade do LA em função da rotação. As amostras com grades apresentam uma concentração da emissão na direção perpendicular à superfície, seguindo o modo fundamental de difração da grade. Também foi medido um pico de emissão no primeiro modo de difração na amostra de 1800 l/mm próximo aos 30°. Em contraste, a amostra de controle emite mais uniformemente para todas as direções e com baixa intensidade.

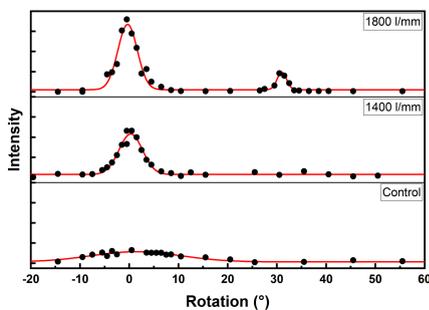


Figura 2: Direções de emissão

Finalmente foi medida a dependência do comprimento de onda do laser em relação à rotação da amostra e a sintonização do laser foi observada. A medida foi feita com uma amostra de 1400 l/mm e foi obtido um deslocamento superior a 5 nm com uma rotação de 20°. O comprimento de onda aumenta conforme o ângulo se afasta de 0° de forma simétrica e não-linear.

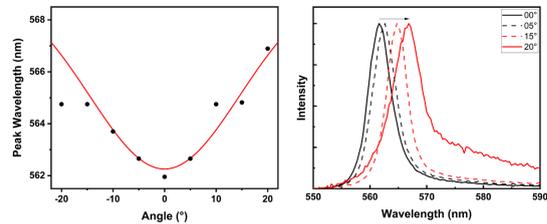


Figura 3: Comportamento do espectro do laser em função da rotação

## Conclusões

Foi medida a inversão de população e geração laser em todos os casos e foi observado um limiar laser significativamente menor nas amostras com grades. O comportamento das estruturas também ficou evidente na separação da luz nos modos de difração. Em todas as amostras com grades, a emissão é direcionada para um pequeno intervalo angular relativo ao modo fundamental de difração nos 0° em contraste, a amostra de controle emite de forma uniforme para todas as direções e baixa intensidade. Adicionalmente, as amostras com estruturas de maior qualidade apresentam focos adicionais de luz no primeiro modo de difração.

O objetivo principal do projeto, a sintonização no laser em função de uma rotação, também foi atingido. Ocorreu um deslocamento de 5 nm no espectro de emissão com um rotação de 20°, com o centro do pico indo de 562 para 567 nm. A limitação desse intervalo de sintonização é dada pela baixa intensidade de luz para altos ângulos.

## Referências

- [1] ROMERO, A. L. S. Sistema experimental automatizado para estudos de Laser Aleatório em plataformas poliméricas flexíveis combinadas a biomateriais. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023
- [2] Kogelnik, H., & Shank, C. v. (1971). Stimulated emission in a periodic structure. Applied Physics Letters, 18(4), 152–154. <https://doi.org/10.1063/1.1653605>

## Optimization of random laser emission in polymeric resin through periodic microstructuring

Vitor Eduardo Kock de Sá

Leonardo De Boni

IFSC/USP

vitordesa@usp.br

### Objectives

Random laser (RL) devices have been gaining considerable attention due to their applications as monochromatic light sources, presenting a series of properties that differentiate them from other light sources. In this project, we propose to tune RL devices using surface diffraction gratings to optimize emission control. The periodic gratings will induce the light to follow paths inside the device with fixed angles that depend on the wavelength. Stimulated emission will occur in each path, creating laser light with a narrow wavelength interval. The measured emission spectrum is expected to shift as the sample is rotated, allowing for easy wavelength tuning.

### Materials and Methods

The samples used for this study were mainly composed by a polymeric resin, in which the diffraction gratings were printed. The resin consists of two monomers that polymerize under UV light, Rhodamine 6G is used as the gain medium mixed in the resin. To produce superficial diffraction gratings on the RL devices, the resin is spilled on a substrate that already has a physical grating, which molds the resin while the hardening process of polymerization takes place.

The experimental setup consists of a pump laser that excites the RL samples. A telescope combined with a Spectrophotometer collects

the RL output emission. The excitation pump energy is controlled through a 532 nm half-plate with a fixed polarizer. Part of the beam is reflected with a beam splitter to a power meter that measures the pump energy in realtime, associating each laser energy with the respective collected spectrum. The samples are mounted on a rotating stage, allowing control of the angle between the incident pump laser and the sample surface. The spectra are, in realtime, automatically analyzed by a homemade software that outputs the peak intensity, width, and wavelength as function of the pump laser energy.

### Results

The first measurements obtained were the RL emission energy as a function of the pumping energy, as can be seen in Figure 1. Spectrum narrowing and an increase of the RL emission efficiency were observed after such pump energy values defined as lasing threshold, implying laser generation in all cases. The samples with surface gratings had a significantly lower lasing threshold than the control sample one. The spectrum width is approximately the same for all cases, with 4.8 nm.

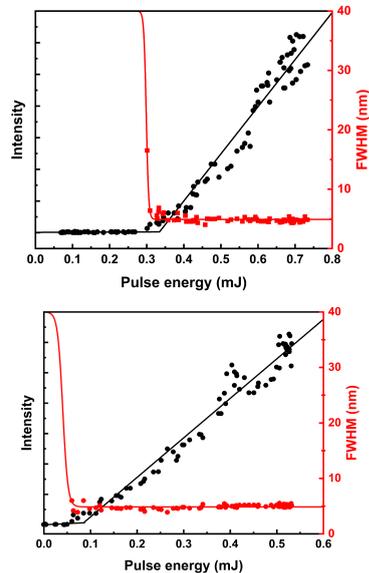


Figure 1: RL Emission dependence on pumping energy

Once RL emission was observed, we analyzed the control of the direction and wavelength emission by rotating the sample stage and collecting the RL intensity as a function of the angle, as displayed in Fig 2. The RL emission in samples with gratings is more intense and collimated, showing less divergence in a small angular interval than the control sample (without grating), which emits more uniformly for all directions. The first diffraction order was measured at around 32° with a printed grating with 1800 lines/mm.

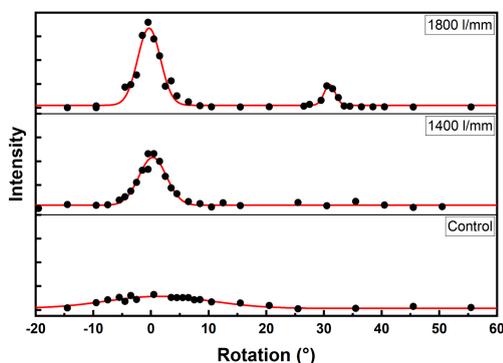


Figure 2: Emission directions

In Figure 3, the wavelength tuning as a function of the rotating angle can be observed. It was achieved with a shift of 5 nm in the spectrum and a symmetric behavior around 0°. Longer intervals could be reached, but the emission intensity decreases significantly.

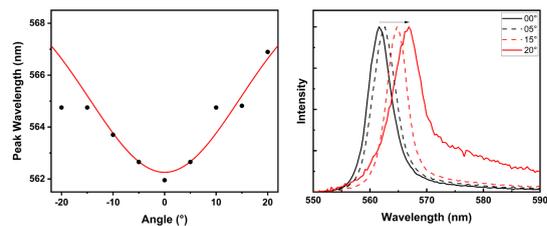


Figure 3: Spectrum shift with sample rotation

## Conclusions

RL emission was observed in all samples, with greater efficiency and lower threshold when the printed diffraction gratings were present. The emitted light was also less divergent on a narrow angular interval with high intensity following the diffraction modes of the gratings. As an important result, the spectra tuning of the RL was observed, with a 5 nm peak shift after a 20° rotation. The production of better gratings could improve results and optimize the technique, so greater intervals and better control can be achieved.

## References

- [1] ROMERO, A. L. S. Sistema experimental automatizado para estudos de Laser Aleatório em plataformas poliméricas flexíveis combinadas a biomateriais. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023
- [2] Kogelnik, H., & Shank, C. v. (1971). Stimulated emission in a periodic structure. Applied Physics Letters, 18(4), 152–154. <https://doi.org/10.1063/1.1653605>