

## 6 Conclusão

O presente trabalho investigou a fabricação e caracterização de nanopartículas de Au em substratos de vidros *soda-lime*. Nanopartículas de ouro foram fabricadas através do aquecimento de filmes de Au depositados em substratos de *soda-lime*. Realizou-se um estudo da morfologia dos filmes antes e depois do aquecimento, com o objetivo de extrair atributos morfológicos necessários para uma análise qualitativa e quantitativa da variação do tamanho das NPs com o aumento da espessura dos filmes depositados. O valor da altura média das NPs foi utilizado no cálculo do índice de refração não-linear ( $n_2$ ), inferido através das medidas de varredura Z. Concluimos que o aumento da espessura do filme depositado gerou NPs com diâmetros e alturas maiores.

A caracterização óptica linear e não-linear foi realizada analisando filmes de Au com espessuras diferentes (6nm, 8nm, 10nm, 12nm e 20nm). Observou-se uma ligação entre resultados morfológicos e ópticos, de modo que a variação do tamanho e forma das NPs influencia as respostas ópticas lineares e não-lineares. Concluimos que a resposta óptica linear das NPs está associada ao efeito LSPR, revelando um pico de absorção típico para NPs de ouro em torno de 530nm. O efeito pode ser compreendido a partir da equação da absorção linear em função da constante dielétrica de Maxwell-Garnett (MG). Para obtenção da constante dielétrica de MG, utilizamos o modelo do “Campo dipolar e aproximação quase estática” para determinação do campo dentro e fora da NP e da constante dielétrica de Drude para a constante dielétrica da NP metálica. O modelo de Maxwell-Garnett foi simulado e o comportamento da absorção linear foi comparado com os resultados obtidos das medidas experimentais, onde se observa um pico em torno de 530nm, típico das nanopartículas de ouro. As medidas de absorção linear das NPs de Au revelaram que a absorção é proporcional à espessura do filme, isto é, para filmes mais espessos, teremos amplitudes de absorção maiores. Estes resultados estão de acordo com a equação (2.1), que mostra a dependência da extinção com o fator de preenchimento (razão do volume

da NP pelo volume da amostra). Além disso, realizou-se um estudo das propriedades ópticas lineares com a variação da temperatura de formação das NPs. Utilizaram-se 4 temperaturas diferentes (200°C, 400°C, 600°C e 800°C) para a formação das NPs. O tempo de formação de 4 minutos foi o mesmo para todas as temperaturas estudadas. Concluímos que o aquecimento a 200°C por 4 minutos não foi suficiente para formar as NPs, de modo que o espectro de absorção ficou muito parecido com o espectro do filme de Au antes do aquecimento. Devido a este fato, desconsideramos os resultados a 200°C. Concluímos também que a temperatura ótima de formação das NPs para sensoriamento foi de 600°C, pois o pico obtido a partir da amostra aquecida a 800°C não modificou muito em relação ao pico para 600°C. A temperatura de 400°C não seria muito adequada, pois é interessante que o pico seja estreito para revelar o deslocamento do pico em função da mudança das características do meio no qual as NPs estão inseridas. Concluímos também que o aumento da temperatura causa um deslocamento para o azul (*Blue Shift*) no comprimento de onda de ressonância de plasmon localizado, devido ao aumento do livre caminho médio provocado pelo aquecimento térmico. Vimos também que o aumento do livre caminho médio dos elétrons altera diretamente a densidade de carga, que altera a largura a meia altura do pico de absorção. Vimos que os argumentos teóricos estão de acordo com os resultados experimentais obtidos através das medidas de absorção linear de filmes de Au aquecidos à temperaturas diferentes. Realizou-se a caracterização óptica não-linear em amostras fabricadas a partir de 3 espessuras diferentes (6nm, 10nm e 20nm), antes e depois do aquecimento. Descartamos as espessuras de 8nm e 12nm devido ao fato das respostas ópticas estarem muito próximas das obtidas para as espessuras de 10nm. Medidas do índice de refração não-linear e absorção não-linear das amostras antes e depois do aquecimento foram realizadas se utilizando do TM-EZ. A inversão do sinal do índice de refração não-linear e da absorção não-linear dos filmes antes e depois do aquecimento ocorreu para todas as espessuras estudadas. Yoshihiko Takeda e colaboradores<sup>51</sup> mostraram que a inversão do sinal do índice de refração não-linear e da absorção não-linear esta associada à contribuição interbanda (elétrons ligados) e intrabanda (elétrons livres) predominates antes e depois do aquecimento respectivamente. Além disso, observou-se um aumento do  $n_2$  e  $\alpha_2$  com o aumento da espessura.

Esta dissertação gerou 2 trabalhos em congresso<sup>44,52</sup>. A presente dissertação abre portas para trabalhos futuros envolvendo fabricação e caracterização de NPs metálicas em substrato vítreo e fibras ópticas. Dentre os trabalhos podemos citar:

- 1) Estudo das respostas ópticas não-lineares de NPs fabricadas pelo aquecimento a diferentes temperaturas.
- 2) Estudo da caracterização óptica linear e não-linear em substratos de sílica pura.
- 3) Estudo da caracterização óptica linear e não-linear de NPs de Au em substratos nanolitografados.
- 4) Estudo da caracterização óptica linear e não-linear de NPs de prata ou outros metais.
- 5) Estudo da caracterização óptica não-linear em fibras ópticas contendo NPs de Au.